

University of Groningen

Effecten van de pulskor op haaïen en roggen

Mulder, Peter; Bos, Attie

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2006

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Mulder, P., & Bos, A. (2006). *Effecten van de pulskor op haaïen en roggen*.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

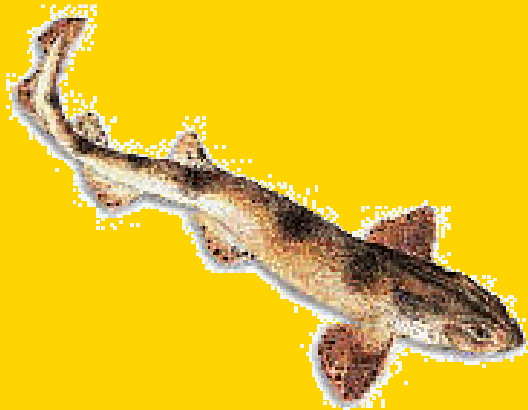
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

RAPPORT 71

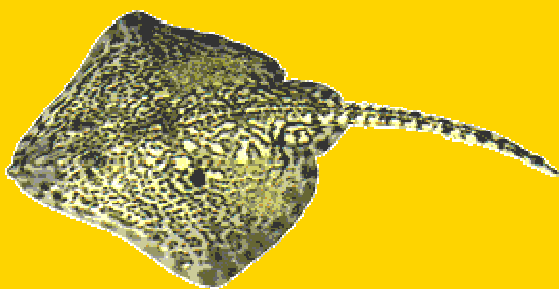
RuG

Wetenschapswinkel



Effecten van de pulskor op haaien en roggen

Een literatuurstudie naar de effecten van elektrische signalen van pulskorren op elektrosensitieve dieren zoals haaien en roggen



Peter Mulder

Attie F. Bos

**Wetenschapswinkel Biologie
Rapport 71
ISBN 90-367-2523-2**

Effecten van de pulskor op haaien en roggen

**Literatuurstudie naar de effecten van elektrische signalen van
pulskorren op elektrosensitieve dieren zoals haaien en roggen**

Peter Mulder

Attie F. Bos

Haren, maart 2006

Wetenschapswinkel Biologie
Biologisch Centrum (RUG)
Kerklaan 30/Postbus 14
9750 AA Haren
Telefoon 050 363 2385
Telefax 050 363 5205
www.rug.nl/wewi

Colofon

Onderzoeker en begeleiders

Dit rapport is tot stand gekomen naar aanleiding van vragen van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselveiligheid (LNV) aan de Wetenschapswinkel Biologie (Rijksuniversiteit Groningen) over de effecten van elektrische signalen van pulskorren op elektrosensitieve dieren zoals haaien en roggen. Het onderzoek is uitgevoerd door biologiëstudent Peter Mulder in het kader van een doctoraalonderwerp.

Inhoudelijke adviezen kwamen van:

Prof. Dr. W.J. Wolff, Rijksuniversiteit Groningen (Departement Mariene biologie)

Prof. Dr. J.J. Videler, Rijksuniversiteit Groningen (Departement Mariene biologie)

Dr. H. van der Vis (Wageningen Universiteit en Researchcentrum)

Drs. Attie F. Bos, Wetenschapswinkel Biologie (Rijksuniversiteit Groningen), zorgde als medeauteur voor de eindredactie.

Bibliografische informatie

Effecten van de pulskor op haaien en roggen. Een literatuurstudie naar de effecten van elektrische signalen van pulskorren op elektrosensitieve dieren zoals haaien en roggen.

Auteurs: Peter Mulder en Attie F. Bos

Rapport 71

Haren, maart 2006

ISBN 90-367-2523-2

Wetenschapswinkel Biologie

Rijksuniversiteit Groningen

Kerklaan 30/Postbus 14

9750 AA Haren

www.rug.nl/wewi

Voorwoord

Dit onderzoek is uitgevoerd naar aanleiding van vragen van het Ministerie van LNV aan de Wetenschapswinkel Biologie (Rijksuniversiteit Groningen) over de effecten van de pulskor op haaien en roggen.

Tijdens het onderzoek is samengewerkt met
Ministerie van LNV (Directie Visserij)
Firma Verburg Holland BV,
Mariene biologie (Rijksuniversiteit Groningen)

De volgende personen hebben bij dit onderzoek een begeleidende en adviserende rol gehad:

Prof. Dr. W.J. Wolff, Rijksuniversiteit Groningen (Departement Mariene biologie)
Prof. Dr. J.J. Videler, Rijksuniversiteit Groningen (Departement Mariene biologie)

Dit onderzoek is mede tot stand gekomen dankzij de medewerking van:

Drs. M. van Stralen, Projectleider Pulskor (MarinX)
Piet Jan Verburg (Verburg Holland BV)
Dr. H. van der Vis (Wageningen Universiteit en Researchcentrum)
Mw. Drs. B.M. Schoute (Ministerie van LNV, Directie Visserij)
Jaap Vlaming (deskundige visserijtechniek en expeditieleider M.S. Tridens, januari 2005)
Medewerkers Directie Visserij (Ministerie van LNV)
Rob Middag en Marjan Bos (biologiestudenten Rijksuniversiteit Groningen)

Ik wil alle personen die hebben meegewerkt aan dit onderzoek bedanken voor hun inzet, in het bijzonder
Mw. Drs. A.F. Bos, Rijksuniversiteit Groningen (Wetenschapswinkel Biologie).

Peter Mulder

Inhoudsopgave

Inleiding	1
1. De Nederlandse visserij	3
1.1 De Nederlandse boomkorvisserij	3
1.1.1 Quota en visserijbeleid	4
1.1.2 Brandstofverbruik en brandstofprijzen	6
1.2 Nadelige effecten van de boomkorvisserij	7
1.3 De pulskor	8
2. Haaien en roggen als bijvangst	11
2.1 Soorten haaien en roggen	11
2.2 Vangsten van haaien en roggen	11
3. De elektroreceptoren van haaien en roggen	17
3.1 Achtergrond	17
3.2 De locatie van elektroreceptoren	17
3.3 Fysiologie van elektroreceptoren	18
3.3.1 Het receptorkanaal	19
3.3.2 De alveoli en het sensorisch epitheel	20
3.3.3 De overdracht van elektrische signalen	20
3.4 De detectie van elektrische signalen	21
3.4.1 Lokaal polair veld	21
3.4.2 Extern uniform veld	24
4. Sensitiviteit van haaien en roggen	27
4.1 De fysiologie van hoge sensitiviteit	27
4.2 Gedragsonderzoek naar haaien en roggen	27
5. Analyse	31
6. Conclusies en aanbevelingen	35
Literatuurlijst	37

Samenvatting

Sinds 1960 wordt door de Nederlandse kottervloot gevist met de conventionele boomkor. Deze vorm van visserij richt zich op platvissen als schol en tong, maar ook op garnalen. Er kleeft echter een aantal grote nadelen aan vissen met de boomkor. Het tuig heeft veel contact met de bodem wat nadelige effecten heeft op het bodemleven. Ook is de bijvangst hoog. Door het bodemcontact is het brandstofverbruik van het schip hoog alsmede de slijtage van het tuig. Daarom wordt gezocht naar alternatieve vormen van visserij. Een van deze vormen is de pulskor. De pulskor biedt aanzienlijke voordelen ten opzichte van de huidige boomkorvisserij, omdat de pulskor selectief vist, geen wekkerkettingen gebruikt maar elektrodendragers waarmee vissen uit de zeebodem worden opgeschrikt. Hierdoor is het contact met de bodem minder, wat een lager brandstofgebruik, minder slijtage aan het tuig, maar ook minder bodemberoering en bijvangst veroorzaakt. De pulskor kan op dit moment echter nog niet zonder problemen worden gebruikt door de Nederlandse kottervloot, omdat de Europese Unie het vissen met elektriciteit heeft verboden. Het verbod kan alleen worden opgeheven als alle positieve en negatieve aspecten van de pulskor duidelijk zijn. Negatieve aspecten van de pulskor kunnen worden veroorzaakt door de elektrische signalen die de pulskor uitzendt. Het zou mogelijk kunnen zijn dat elektrosensitieve dieren zoals haaien en roggen hiervan hinder of schade ondervinden. Naar aanleiding van dit probleem heeft het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit de Wetenschapswinkel Biologie van de Rijksuniversiteit Groningen benadert om dit aspect verder uit te zoeken door middel van een literatuuronderzoek. In dit onderzoek staat de volgende vraag centraal: *Wat is er bekend over de effecten van elektrische signalen die door de pulskor worden geproduceerd op elektrosensitieve dieren zoals kraakbeenvissen?* Hierbij is specifiek aandacht besteed aan haaien en roggen. Uit het onderzoek blijkt dat exacte vangstgegevens van haaien en roggen met een conventionele boomkor niet goed bekend zijn. Haaien en roggen worden doorgaans als bijvangst naar boven gehaald en worden niet meegeteld in de vangstgegevens. Gevangen haaien en roggen worden bij vangst blootgesteld aan hoge sterfte. De dieren hanteren een K-strategie, dat wil zeggen dat ze lang leven, een lage natuurlijke sterfte vertonen en weinig nakomelingen hebben. De vangst van individuele haaien en roggen heeft daarom een groot effect op populatieniveau. De elektrosensitiviteit van haaien en roggen is erg goed onderzocht, maar de kennis toont toch hiaten. Het onderzoek heeft zich voornamelijk beziggehouden met de fysiologische kenmerken van de elektroreceptoren en met de detectie van elektrische velden met een laag veldpotentiala, zoals een prooi. Fysiologische eigenschappen van de elektroreceptoren van haaien en roggen zorgen ervoor dat elektrische signalen efficiënt worden verwerkt en dat de gevoeligheid voor elektrische signalen erg hoog is. Deze hoge gevoeligheid blijkt ook uit gedragsexperimenten, waarbij de dieren werden blootgesteld aan elektrische velden. Deze experimenten laten zien dat haaien elektrische velden vanaf een veldpotentiala van $0,1 \mu\text{V}/\text{cm}$ kunnen detecteren, overeenkomstig de sterkte van elektrische signalen zoals die worden uitgezonden door hun prooidieren. Daarnaast vertonen de haaien ontwijkgedrag bij elektrische velden vanaf $10 \mu\text{V}/\text{cm}$. De fysiologische respons van de elektroreceptoren en het gedrag bij hogere veldpotentialen zijn niet goed onderzocht. De detectiegrens van haaien en roggen ligt een factor 10^8 lager dan het veld dat wordt gegenereerd door de pulskor. Verder is het elektrisch veld van de pulskor ongeveer een factor 10^6 hoger dan dat waarbij haaien

ontwijkgedrag vertonen. Dit betekent dat haaien elektrische velden van pulskorren zullen ontwijken. Het elektrisch veld van de pulskor is een extern uniform veld, vergelijkbaar met velden die worden uitgezonden door elektriciteitskabels op de zeebodem. Tijdens het contact van haaien met het extern uniform veld passeert een gedeelte van het veld de huid en verandert daarmee het intern referentiepotaal. Het gevolg voor de haai is dat in eerste instantie de elektroreceptoren een overdaad aan informatie krijgen totdat het signaal door de huid heen is gegaan en het intern referentiepotaal heeft veranderd. Het is niet bekend of deze overdaad aan informatie schadelijk is. In tegenstelling tot een lokaal polair veld dat wordt uitgezonden door prooidieren, draagt het elektrisch signaal van een extern uniform veld ver. Onderzoek naar dit type velden wijst uit dat het veldpotaal van een elektrisch veld van $10 \mu\text{V/cm}$ nauwelijks afneemt tot 4 meter van de bron. Daarna neemt het veldpotaal bijna exponentieel af, waarbij het signaal voor haaien meetbaar is tot ongeveer 100 meter van de bron. Dit zou betekenen dat haaien en roggen de elektrische signalen van de pulskor aan voelen komen, wel of niet gevolgd door ontwijkgedrag. Dit is afhankelijk van eerdere ervaringen en van de snelheid waarmee het tuig de haai of rog nadert.

De eindconclusie van deze studie luidt dat elektrische velden effect hebben op haaien en roggen. Aangezien de velden van een pulskor vele malen sterker zijn dan de onderzochte velden kan worden aangenomen dat deze ook effect hebben op haaien en roggen. Om deze hypothese te toetsen is nader onderzoek noodzakelijk. De relatie tussen gedragsveranderingen en schade door elektrische velden in het algemeen en van een pulskor in het bijzonder is niet bekend en moet worden onderzocht. Het veelvuldig voorkomen van gedragsveranderingen door externe factoren, zou stress bij haaien en roggen tot gevolg kunnen hebben. Door ontwijkgedrag zou de kans om als bijvangst van een pulskorkotter gevangen te worden kleiner kunnen zijn dan bij een boomkorkotter. Veel is hier niet over bekend. Daarom moeten de vangstgegevens van haaien en roggen zowel bij de boomkor als bij de pulskor worden geïnventariseerd. Ook is meer onderzoek nodig naar de populatiedynamica van haaien en roggen en naar de fysiologische respons van deze zeedieren op elektrische velden.

Summary

Since 1960 the Dutch fishing fleet has fished with the conventional beam trawl. This type of fishery is aimed at flatfish such as plaice and sole but also shrimps. However, there are a number of serious disadvantages to this type of fisheries. The fishing gear drags along the seabed and has a damaging effect on benthic life. This method also produces a large by-catch and the contact with the seabed results in high fuel consumption and serious wear and tear on the craft. For these reasons an alternative form of fishery is being sought. An alternative is pulse trawl fishery, which offers considerable improvement to the present beam trawl method. It fishes selectively, using electrical impulses instead of tickler chains to startle the fish out of the seabed. This means that there is less contact with the seabed, resulting in lower fuel consumption and less wear and tear on the fishing vessel, but also less seabed disturbance and less by-catch. However, the pulse trawl may not yet be used by the Dutch fishing fleet because the European Union prohibits fishing methods using electricity. This ban can only be lifted when all the positive and negative aspects of the pulse trawl have been clarified. The electric signals created by the pulse trawl may affect or harm electro-sensitive fish such as sharks and rays. The Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality has asked the University of Groningen's Science Shop for Biology to carry out a literature-based study on this aspect of pulse trawl fishery. The research question was: *What is known about the effects of electric signals produced by the pulse trawl on electro sensitive animals such as cartilaginous fish?* Specific attention was paid to sharks and rays. The study has shown that exact catch data for sharks and rays with a conventional beam trawl are not well documented. Sharks and rays are usually caught as by-catch and not recorded in the catch data. The death rate after capture is high. Sharks and rays operate a K strategy, that is, they have a long life, low death rate from natural causes and few progeny. Taking individual sharks and rays can therefore have a serious effect on population levels. The electro-sensitivity of sharks and rays has been very well researched, but there are some gaps. Research has mainly focussed on the physiological characteristics of the electro-receptors and on the detection of electric fields with a low field potential, such as a prey. Physiological aspects of the electro-receptors of sharks and rays ensure that electric signals are processed efficiently and that their sensitivity to electric signals is extremely high. In behavioural experiments, where the fish were exposed to electric fields, it was found that sharks can detect electric fields from a field potential of $0.1 \mu\text{V/cm}$; the approximate electric signals transmitted by their prey. It also revealed that sharks demonstrate avoidance behaviour for electric fields above $10 \mu\text{V/cm}$. The response of the electro-receptors and behaviour at higher field potentials has not been well-researched. The detection limit of sharks and rays is a factor of 10^8 lower than the field generated by the pulse trawl. Furthermore, the electric pulse trawl's electric field is a factor of approximately 10^6 higher than the electric field that causes avoidance behaviour in sharks. This means that sharks will avoid the electric field created by the pulse trawl. The pulse trawl's electric field is an external uniform field, comparable to fields transmitted by electricity cables on the seabed. When the shark comes into contact with the external uniform field, part of that field passes through the skin and thus changes the internal reference potential. The consequences for the shark are that it initially receives an overload of information, until the signal has passed through the skin and changed the internal reference

potential. It is not clear if this information overload is harmful or not. In contrast to the local polar field transmitted by prey species, the electrical signal of an external uniform field carries a long distance. Research into this type of field shows that the field potential of an electric field of $10 \mu\text{V}/\text{cm}$ scarcely diminishes up to 4 meters from the source. After this, the field potential decreases exponentially, with the signal for sharks being measured up to 100 metres from the source. This could mean that sharks and rays feel the pulse trawl's electric signal coming and may or may not use avoidance behaviour. This is dependent on earlier experiences and the speed with which the vessel approaches the shark or ray. This study concludes that the electric fields have a general effect on sharks and rays. As the pulse trawl fields are several times stronger than the fields researched, it can be assumed that these will also have an effect on sharks and rays. This hypothesis needs to be investigated more precisely. The relation between behavioural change and harm as a result of electric fields in general and from the pulse trawl in particular is not known and needs to be studied. Frequent incidents of behavioural change caused by external factors places stress on sharks and rays. The use of avoidance behaviour means that the chance of being taken as by-catch by a pulse trawl could be lower than for a beam trawl, though not much is known about this. An inventory therefore needs to be made of the shark and ray catch records for both the beam trawl and the pulse trawl. More research into the physiological response of sharks and rays to electric fields, and into population dynamics, also needs to be carried out.

Inleiding

Sinds 1960 vist de Nederlandse vissersvloot met het huidige model boomkor (Lindeboom & de Groot, 1998. In: Bergman & Santbrink, 2000 & Rijnsdorp, 1998).

De boomkorvisserij vist met behulp van metalen kettingen, die voor het sleepnet zijn geplaatst en zijn bevestigd aan een boom. Die boom wordt samen met de (wekker)kettingen over de zeebodem getrokken, waarbij de kettingen op de bodem roffelen, de bodem wordt losgewoeld en bodemvissen als schol en tong in de netten terecht komen (Kaiser *et al*, 1998; Philippart, 1998; Rijnsdorp *et al*, 1998).

De boomkorvisserij brengt echter een aantal nadelen met zich mee waardoor deze visserijtak als veroorzaker wordt aangewezen voor enkele huidige problemen in de Noordzee, waaronder overbevissing (Steketee, 2005). De twee grootste nadelen van de boomkorvisserij zijn de ernstige beschadigingen aan de bodem en de forse bijvangst (Bergman & Hup, 1992; Kaiser & Spencer, 1995 in Kaiser *et al*, 1998). Een groot gedeelte van de bijvangst sterft, nadat deze overboord is gezet, door de opgelopen kwetsuren tijdens het vangstproces (Fonds, 1994. In: Philippart, 1998). Verder zorgt de bodemberoering voor vertroebeling van de Noordzee door zwevend stof in de waterkolom.

Vanwege deze nadelen is het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit op zoek naar een alternatieve, milieuvriendelijkere vistechiek.

Een nieuwe vistechiek met de pulskor biedt veel perspectieven vanwege de specifieke manier van vissen. De pulskorvisserij gebruikt geen wekkerkettingen maar buizen met elektroden die elektrische schokjes (pulsen) uitzenden, waardoor bodemvissen worden opgeschrikt en in de netten kunnen worden gevangen. In tegenstelling tot de boomkor heeft de pulskor minder contact met de bodem, wat een verlaging van het aantal schadelijke effecten met zich meebrengt (Van Stralen, 2004a). Andere voordelen van de pulskor ten opzichte van de boomkor zijn: minder bijvangst, een grotere overlevingskans van de bijvangst en minder bodemberoering. Er zijn ook een aantal economische voordelen verbonden aan de pulskor, zoals lager brandstofverbruik, minder slijtage van het vistuig en een hogere kwaliteit vis. Door het huidige visserijbeleid van de Europese Unie kan de pulskor nog niet in gebruik worden genomen door de Nederlandse visvloot.

Ondanks het feit dat de pulskor een aantal grote voordelen biedt ten opzichte van de conventionele boomkor, rust namelijk op dit moment vanuit de Europese Unie (EU) nog een verbod op elektrische vismethoden wegens veronderstelde dieronvriendelijkheid. Het Ministerie van LNV heeft echter van de EU wel eenmalige toestemming gekregen om te experimenteren. Om het pulskorproject zo succesvol mogelijk te laten verlopen is ervoor gekozen om zoveel mogelijk actoren te betrekken bij de ontwikkeling daarvan. Hiervoor zijn naast wetenschappers en het Productschap Vis (de koepelorganisatie van de Nederlandse visserijsector) ook vissers betrokken bij het project. Gedurende het gehele jaar 2005 is de pulskor in de praktijk getest op een viskotter (de UK 153). Op basis van de resultaten zal de minister de balans opmaken en proberen een definitieve opheffing van het verbod te krijgen. Om een totaalbeeld te kunnen schetsen van alle eigenschappen van de pulskor zullen ook de negatieve effecten van de pulskor in kaart moeten worden gebracht. Er is weinig bekend over de fysiologische respons van vissen en de effecten van de pulskor op de overlevingskans van de bijvangst. Verder is niet duidelijk wat de effecten van de elektrische signalen op zeedieren zijn.

Een van de negatieve effecten die de pulskor zou kunnen veroorzaken is schade aan elektrosensitieve dieren door de elektrische signalen¹ die de pulskor uitzendt. Bij elektrosensitieve dieren wordt in de eerste plaats gedacht aan kraakbeenvissen zoals haaien en roggen. Deze dieren staan erom bekend dat ze zeer gevoelig zijn voor elektriciteit doordat ze met behulp van elektroreceptoren of Ampullen van Lorenzini naar prooi zoeken. Nadelige effecten van de pulskor op de elektroreceptoren van kraakbeenvissen hebben daarom directe consequenties voor het functioneren en overleven van de dieren. De pulskor zou door deze hoge sensitiviteit een groter effect op kraakbeenvissen kunnen hebben dan op andere vissoorten.

Naar aanleiding van bovenstaande problematiek heeft het Ministerie van LNV de Wetenschapswinkel Biologie van de Rijksuniversiteit Groningen verzocht hiernaar nader onderzoek te doen. Het onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met de basiseenheid Mariene Biologie van dezelfde universiteit.

De hoofdvraag luidt:

Wat is er bekend over de effecten van elektrische signalen die door de pulskor worden geproduceerd op elektrosensitieve dieren zoals kraakbeenvissen?

Het onderzoek richt zich specifiek op de effecten van de pulskor op kraakbeenvissen zoals haaien en roggen. Roggen in het algemeen kunnen ook als maat voor de zeldzame vleten dienen (Mondelinge mededeling Wolff, 2005).

Om bovenstaande vragen te beantwoorden is in de eerste plaats literatuuronderzoek gedaan. Daarnaast zijn interviews uitgevoerd met diverse deskundigen. Tot slot hebben persoonlijke observaties bijgedragen aan de totstandkoming van het rapport.

Het rapport is aan de hand van vragen als volgt ingedeeld.

De Nederlandse visserij (Hoofdstuk 1)

- Hoe ziet de huidige Nederlandse visserij eruit?
- Wat zijn de vangsten en opbrengsten van de Nederlandse visserij?
- Wat zijn problemen in de huidige Nederlandse visserij?
- Wat zijn de verschillen tussen vissen met de conventionele boomkor en pulskor?

Haaien en roggen als bijvangst (Hoofdstuk 2)

- Welke soorten haaien en roggen worden gevangen?
- Hoeveel haaien en roggen worden bijgevangen door de Nederlandse visserijvloot?

De elektroreceptoren van haaien en roggen (Hoofdstuk 3)

- Wat is de historie van elektroreceptoren?
- Wat is de locatie van elektroreceptoren?
- Wat zijn de fysiologische aspecten van de elektroreceptoren?

Sensitiviteit van haaien en roggen (Hoofdstuk 4)

- Welke fysiologische aspecten bepalen de sensitiviteit van haaien en roggen?
- Wat is er bekend over de sensitiviteit van haaien en roggen?

Analyse (Hoofdstuk 5)

Conclusies en aanbevelingen (Hoofdstuk 6)

¹ Op dit moment wordt voor de elektrische informatie die kan worden gedetecteerd door haaien en roggen en door de pulskor geproduceerd, de term elektrisch signaal gebruikt. In Paragraaf 4.4 zal verder worden ingegaan welke soorten elektrische signalen er bestaan.

1 De Nederlandse visserij

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de omvang van de Nederlandse boomkorvisserij en de problemen waar deze mee te maken heeft.

1.1 De Nederlandse boomkorvisserij

Nederland is een belangrijke distributeur van vis. In Europa zijn de grootste afzetmarkten Duitsland, Frankrijk, België en Italië. Over het algemeen wordt de gevangen vis aan boord verwerkt en ingevroren en vervolgens in deze vorm geëxporteerd. De Nederlandse zeevisserij kan worden omschreven als een visserij op commerciële, voor de menselijke consumptie geschikte vissoorten. Deze visserij vindt buiten de kustwateren plaats. In tegenstelling tot het Verenigd Koninkrijk, Denemarken en Noorwegen kent Nederland geen industrievisserij. Industrievisserij omvat de vangst van kleine, niet gequoteerde zeevissoorten met als doel deze te verwerken tot vismeel en visolie. De grootste vloot in de Nederlandse zeevisserij is de kottervloot. Kotters voeren verse vis aan die gevangen wordt tijdens zeereizen, die in lengte variëren van één of enkele dagen tot een week. Nederlandse kotters zijn gespecialiseerd in de boomkorvisserij. De boomkor werd in 1960 geïntroduceerd en is nog steeds het meest algemeen gebruikte vistuig in de Noordzee (Lindeboom & de Groot, 1998 in Bergman & Santbrink, 2000 & Rijnsdorp *et al.*, 1998). Bij de boomkorvisserij wordt aan beide zijden van het schip een net in het water gebracht waaraan een maximaal 12 meter brede boom is bevestigd. Aan de giek zijn zogeheten wekkerkettingen bevestigd die over de zeebodem worden getrokken. De kettingen roffelen op de bodem en slepen door de bodem, waardoor onder andere platvissen worden opgeschrikt en vervolgens kunnen worden gevangen in het net (Kaiser *et al.*, 1998; Philippart, 1998; Rijnsdorp *et al.*, 1998).

De boomkorvisserij is vooral geschikt voor het vangen van schol en tong, waarbij netten met een maaswijdte van maximaal 80 millimeter worden gebruikt. De vissers hebben een duidelijke voorkeur voor tong vanwege de ongeveer 10 keer zo hoge marktprijs. In veel gevallen bestaat de kottervloot uit eenmansbedrijven, waarvan de eigenaar ook schipper is. De opvarenden op een kotter varen in veel gevallen binnen een maatschap. Kortweg komt dit erop neer dat de schipper de middelen (het schip) inbrengt en de opvarenden hun arbeid. Op basis van een afgesloten maatschapovereenkomst wordt bepaald hoe het winstaandeel onder de bemanning en de schipper wordt verdeeld (CBS Statline, 2005).

De Nederlandse kottervloot bestond in 2003 uit ongeveer 374 schepen; deze zijn geclassificeerd aan de hand van motorvermogen. De meeste schepen uit de huidige kottervloot hebben een 1.000 pk motor (CBS Statline, 2005). Nieuwbouwschepen mogen tegenwoordig maximaal 2.000 pk bezitten. In 2003 waren verder nog 17 trawlers, 69 mosselschepen, 4 kokkelschepen en 20 schepen voor de oestervisserij in bedrijf. Tabel 1 laat een overzicht zien van de aantallen schepen en opvarenden van de Nederlandse kottervloot in de periode van 1993 tot 2003. Uit de tabel blijkt dat het aantal schepen en opvarenden de laatste jaren zijn afgenomen, in tegenstelling tot de zestiger jaren van de vorige eeuw. Toen was niet alleen een toename in het aantal kotters te zien, maar ook een toename in het gewicht van het tuig en in de vissnelheid. Daardoor namen de vangsten van platvis toe (Philippart, 1998 & Piet *et al.*, 2000).

Tabel 1. Omvang van de Nederlandse kottervloot in de periode tussen 1993 en 2003 (*voorlopige aantallen) (Bron: CBS Statline, 2005)

Perioden	Aantal schepen	Aantal opvarenden
1993	474	2.184
1994	464	2.159
1995	452	2.108
1996	437	2.037
1997	416	1.923
1998	407	1.858
1999	399	1.825
2000	402	1.831
2001	401	1.775
2002	393	1.765
2003	374	1.720*

Een van de redenen voor de afname van het aantal schepen en opvarenden is de toenemende druk op vissers. Zij hebben te maken met stijgende kosten, door bijvoorbeeld de hoge brandstofprijzen, terwijl de vangsten en daarmee de opbrengsten dalen. Daarnaast wordt er vanuit het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) druk op de vissers uitgeoefend door opgelegde quota en sanering van de visserijtak. Deze factoren worden in de volgende paragrafen besproken.

1.1.1 Quota en visserijbeleid

Het Ministerie van LNV is verantwoordelijk voor het visserijbeleid dat op vele punten door de Europese Unie (EU) wordt gestuurd. Het Nederlandse visserijbeleid streeft naar een verantwoordelijke visserijtak, gebaseerd op duurzaamheid. Daarnaast wil het ministerie graag investeren in technologische ontwikkelingen, zoals de pulskor. Duurzame visserij houdt in dat de visstand van commercieel belangrijke vissoorten gehandhaafd blijft en niet in aantallen afneemt door (over)bevissing of tot extinctie zal leiden (Ministerie van LNV, 2005).

Om dit beleid vorm te geven stelt de EU voor iedere lidstaat quota vast die betrekking hebben op de maximale hoeveelheid vis die per vissoort mag worden gevangen. De quota zijn gebaseerd op resultaten van wetenschappelijk onderzoek van een internationale raad van biologen, de International Council for Exploration of the Sea (ICES). De onderzoeksafdeling van de ICES heeft meer dan 100 werkgroepen, verdeeld over acht commissies. Van deze acht commissies zijn de volgende twee van belang, aangezien zij informatie verzamelen voor de quota:

- 1) Fisheries Technology Committee (FTC). Deze commissie legt een brug tussen de praktische en technische aspecten van de visserij en biologische thema's als biodiversiteitsstudies en visserijevaluaties.
- 2) Living Resources Committee (LRC). Deze commissie is verantwoordelijk voor zogeheten 'marine living resources': natuurlijke hulpbronnen in het mariene milieu, waarbij ondermeer onderzoek wordt gedaan op het gebied van taxonomie, genetica, distributie, aantallen en populatie dynamica.

De ICES doet niet alleen voorstellen voor quota per land en per vissoort, maar verdeelt ook de Europese wateren in zogenaamde ICES-viszones. De quota zijn dus per land, per vissoort en per ICES-viszone geldig. De Noordzee is bijvoorbeeld onderverdeeld in een Noordelijke zone (IVa), een centrale zone (IVb) en een zuidelijke zone (IVc), die samen ICES-viszone IV vormen (zie figuur 1).



Figuur 1. Overzicht van ICES-viszones in de Noordzee, waarvoor quota's worden opgesteld (EU, 2005)

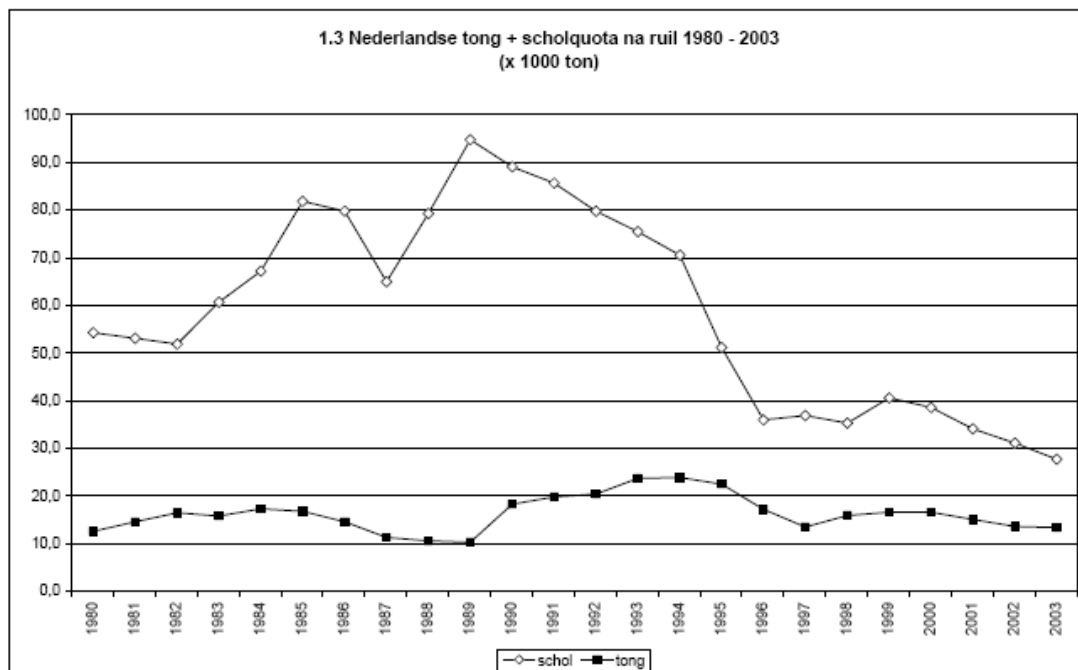
Een aantal graadmeters dat de ICES als richtlijn gebruikt om de quota te bepalen zijn de Total Allowable Catch (TAC²) en Unit Effort (UE). Deze twee graadmeters zijn gebaseerd op biologische concepten als standing stock biomassa, populatiedynamica en veilig biologisch minimum.

Een voorbeeld. De UE voor schol in viszone IV in de Noordzee was in 2004 geschat op 58.889 ton (TAC 61.000). Dit betekent dat alle landen die bij wet mogen vissen binnen deze viszone gezamenlijk 58.889 ton schol mogen vangen. De Nederlandse kottervloot mocht van die 58.889 ton 22.650 ton schol vangen. De quota kunnen echter nog veranderen gedurende het jaar: vissers en lidstaten zijn na vaststelling van de quota bevoegd deze onderling uit te wisselen zolang het totale quotum niet worden overschreden. Volgens de statistieken van de Federatie van Visserijverenigingen (2005) blijkt dat het quotum voor schol in 2004 uiteindelijk 23.509 ton bedroeg, maar dat hiervan slechts 63% daadwerkelijk is opgevist (=14.793 ton).

De ICES schonk tot voor kort geen aandacht aan de bijvangst van haaien en roggen. In 2005 heeft deze raad voor het eerst een inschatting gemaakt van de populatieontwikkelingen van deze dieren in de Noordzee. De ICES erkent dat er weinig beschikbare gegevens over deze soorten zijn, doordat bijvangsten vaak slecht gedocumenteerd zijn (EU, 2005), maar adviseert haaien en roggen als bijvangst zo sterk mogelijk te beperken. Concrete maatregelen waarop dat moet gebeuren ontbreken.

² De Total Allowable Catch (TAC) is de maximale hoeveelheid vis toegestaan voor vangst in een viszone.(EU, 2005)

In figuur 2 is een overzicht te zien van quota voor tong en schol vanaf 1980 zoals die zijn opgesteld voor de Nederlandse kottervisserij in de Noordzee.



Figuur 2. Quota voor schol en tong voor de Nederlandse kottervisserij in de Noordzee (Productschap Vis, 2003b)

In deze figuur is te zien dat gedurende de periode tussen 1980 en 2003 het quotum voor schol is gedaald, maar voor tong ongeveer gelijk is gebleven. Naast het feit dat bepaalde quota dalen, wordt er überhaupt jaarlijks minder vis gevangen. Het scholquotum wordt bijvoorbeeld niet geheel benut, net zo min als het quotum voor tong, dat voor 65% wordt benut (Federatie van Visserijbelangen, 2005). Naast quoteringsanering (het uitkopen van vissers) de tweede beleidsmaatregel van het ministerie van LNV om de visserijdruk op de Noordzee te verlagen. Minister Veerman (LNV) probeert met 30 miljoen subsidie 20% van de Nederlandse vissers te bewegen opnieuw de kottervloot in te krimpen. Hierbij kunnen vissers aanspraak maken op een subsidie als zij vanaf september 2005 hun schip aan de kant leggen (Trouw, 2005). Maar niet alleen de sanering van schepen heeft tot gevolg dat de vangsten teruglopen. In 2005 liggen de vangsten in het algemeen lager dan die in dezelfde periode het jaar daarvoor (Federatie van Visserijbelangen, 2005). De exacte oorzaak daarvan is op dit moment nog niet bekend, maar het heeft er alle schijn van dat overbevissing een negatieve invloed heeft op de aanwezigheid en aantallen vis in de Noordzee. Hierdoor wordt ook het quotum meestal niet geheel benut.

1.1.2 Brandstofverbruik en brandstofprijzen

Naast het huidige visserijbeleid en dalende vangsten veroorzaken ook de enorm gestegen brandstofkosten een probleem voor de visserij. In 2005 hebben de brandstofprijzen een historisch hoogtepunt bereikt. De olieprijs is dat jaar met meer dan 50% gestegen en kwam daarmee op het hoogste niveau van de afgelopen twintig jaar (NRC Handelsblad, 2005). Een gevolg hiervan is dat het voor bepaalde vissers niet meer rendabel is om uit te varen (Mondelinge mededeling Wolff, 2005). De stookkosten overstijgen de opbrengst van de vangst, ondanks de subsidies op de diesel. De huidige Eurocommissaris Joe Borg merkte op dat de hoge olieprijs de hele economie van Europa raken, maar dat vooral de vissers de

dupe zijn. Hij verwacht dat als gevolg hiervan ongeveer 30% van de vissers faillissement zal aanvragen (Financieel Dagblad, 16 september 2005).

Een van de nadelige effecten van vissen met een boomkor is dat het brandstofverbruik erg hoog ligt. Dit komt doordat het schip een vrij hoge vaart heeft bij het vissen en de kotter daarbij veel weerstand van het tuig ondervindt door het contact met de bodem. De pulskor kan op dit gebied uitkomst bieden doordat de kotter minder snel vaart en dus minder weerstand van de bodem ondervindt (Mondelinge mededeling Schoute, 2005). Schipper Pieter Louwe van Slooten, die op dit moment de pulskor een jaar lang mag testen met zijn schip UK 153 vertelt in het NRC handelsblad (Schenkel, 2005): “Ik heb minder brandstof nodig doordat ik geen metalen kettingen meer meesleep. Dat scheelt enorm, gelet op de hoge olieprijs.” Hij voegt daaraan toe dat hij in plaats van 35.000 liter gasolie nu 21.000 liter gebruikt tijdens een 4 daagse vaartocht, ongeveer 40% minder. Ook andere vissers merken dat het “testschip” UK 153 telkens erg kort aan de gasoliepomp ligt, waardoor zij erg nieuwsgierig zijn geworden naar de pulskor. De hoge brandstofprijzen zouden voor veel vissers een reden kunnen zijn om over te stappen op het gebruik van de pulskor.

1.2 Nadelige effecten van de boomkorvisserij

De huidige boomkor is sinds 1960 weinig veranderd en niet met zijn tijd meegegaan. Behalve het nadeel van het hoge brandstofgebruik kleeft er nog een aantal nadelen aan de boomkorvisserij, namelijk de bijvangst en de bodemberoering.

Vissen met de boomkor resulteert in de bijvangst van benthische evertrebraten en bodem (demersale) vissen (Bergman & Hup, 1992; Kaiser & Spencer, 1995 in Kaiser *et al.*, 1998). Uit meerdere onderzoeken, zogenaamde “Experimental Trawlings”, blijkt dat door de boomkorvisserij de sterfte onder bijvangsten wordt verhoogd. De overlevingskansen van bijvangsten zoals platvissen, rondvissen, maar ook ongewervelden als krabben, heremietkreeften, zeesterren en infauna (dieren die in de bodem leven) zijn dan ook klein, afhankelijk van de soort (Fonds, 1994. In Philippart, 1998). Meerdere factoren spelen daarbij een rol (Mondelinge mededeling Schoute, 2005):

- Mechanische schade aan dieren in het net
- De grootte van de vangst
- De tijd dat er achtereenvolgens wordt gevisd (de trektijd)
- De behandeling van de vangst aan boord

Vissen en ongewervelden raken tijdens de vangst gemakkelijk beschadigd. Allereerst zorgen de wekkerkettingen voor beschadigingen. Eenmaal van de bodem in het net worden de gevangen dieren vervolgens blootgesteld aan verschillende vormen van mechanische schade. De wekkerkettingen zorgen er namelijk ook voor dat veel zand wordt opgewerveld, waardoor ondermeer de beschermende slijmlaag van de gevangen vissen wordt aangetast. Dit proces lijkt op zandstralen. Daarnaast veroorzaken krabben met hun scharen en zeesterren met hun monddelen kwetsuren aan vissen in het net en aan elkaar. Deze beschadigingen hebben een negatieve invloed op de gezondheid en de overlevingskansen van de dieren (Mondelinge mededeling Van der Vis, 2005). Mechanische schade kan ook worden veroorzaakt door de vangstgrootte en de trektijd. Er wordt doorgaans anderhalf uur achtereen gevisd, totdat het net wordt opgehaald. Langer vissen betekent meer vis in het net waardoor de druk op de vissen steeds groter wordt. Deze druk is ook afhankelijk van de vaarsnelheid, die ongeveer twee keer zo hoog is bij de boomkor als bij de pulskor. Verder kan de behandeling van de vis aan boord van het schip zorgen voor extra schade aan alle vissen, zowel de commerciële als de bijvangst,

onder andere door de diverse keren dat ze een val maken. Deze factoren zorgen ervoor dat de overleving van de gevangen dieren negatief beïnvloed wordt.

Naast schade aan de bijvangst veroorzaakt de boomkor schade aan de zeebodem. Niet alleen zorgt het intensieve contact voor veel zwevende deeltjes in de waterkolom, maar worden ook niet gevangen dieren in en op de bodem beschadigd (Bergman & Santbrink, 2000; Duineveld *et al.*, 1987; Kaiser & Spencer, 1996a; Bergman & Hup, 1992; Eleftheriou & Robertson, 1992; Bergman & van Santbrink, 1994; Thrush *et al.*, 1995; Currie & Parrie, 1996 in Philippart, 1998). Om hoeveel beschadigde dieren het gaat is moeilijk aan te tonen doordat deze bijna nooit in de netten terechtkomen.

1.3 De pulskor

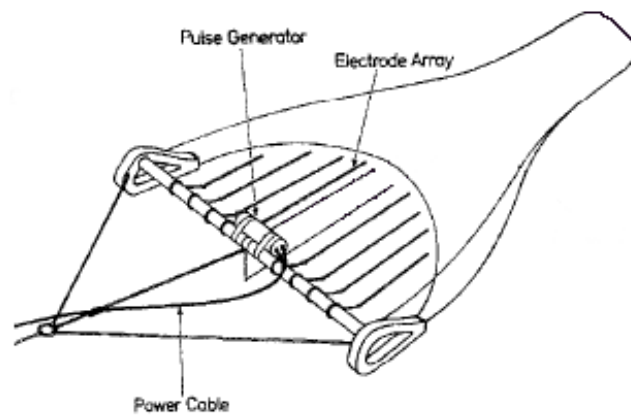
De neveneffecten van vissen met de conventionele boomkor hebben tot gevolg dat gezocht wordt naar een nieuwe manier van vissen in de nabije toekomst. Hierbij wordt vooral gekeken naar alternatief vistuig dat de bijvangst verlaagt en de overleving van de vissen verhoogt. De pulskor zou een alternatief kunnen zijn en er wordt inmiddels al 13 jaar aan gewerkt.

In eerste instantie was de pulskor uitgevonden om de hoge brandstofkosten van de vissers te reduceren. Doordat de pulskor minder contact heeft met de zeebodem dan de traditionele boomkor bleek deze echter ook andere positieve effecten te hebben. De pulskor zorgt voor minder bijvangst en voor een grotere overlevingskans van de dieren die in de netten worden gevangen (Van Stralen, 2004a) doordat hun huid minder wordt beschadigd. Daarnaast zorgt de pulskor voor minder effecten op de zeebodem. De verminderde bodemberoering heeft ook tot gevolg dat het tuig minder snel slijt dan de boomkor en dat er 25 tot 40 % minder brandstof wordt gebruikt (zie paragraaf 1.1.2). Deze economische- en milieufactoren maken de pulskor niet alleen erg interessant voor beleidsmakers en biologen, maar ook voor vissers. Het Nederlands Instituut voor Visserijonderzoek en het Landbouw Economisch Instituut (Wageningen Universiteit en Research) zijn verantwoordelijk voor de technologische ontwikkeling (Schenkel, 2005). Omdat de Nederlandse vissers uiteindelijk met het tuig moeten vissen is besloten om hiermee nauw samen te werken evenals met de firma die de pulskor heeft ontwikkeld. Verder is het Productschap Vis bij de ontwikkelingen betrokken. Er is tot dusver ongeveer 5 miljoen euro geïnvesteerd in deze nieuwe vistechiek.

De pulskor maakt gebruik van elektroden die de traditionele wekkerkettingen vervangen (zie figuur 3). De elektroden produceren een (uniform) elektrisch veld (Elektrode Array). De elektrische schokjes maken dat de vissen de zeebodem verlaten, waarna ze worden gevangen. Aquariumexperimenten in de jaren zeventig van de vorige eeuw (Steward, 1973. In: Steward, 1978) tonen aan dat al een klein elektrisch schokje een stimulans voor vissen kan zijn om de bodem te verlaten. De data die toen zijn vergaard, zijn niet gebruikt voor het huidige onderzoek aan de pulskor. De onderzoekers hebben zelf proeven gedaan en informatie verzameld over de benodigde veldpotential³.

Tot dusver is men tevreden over de resultaten van het pulskorproject (Van Stralen, 2004a). Op dit moment verkeert het onderzoek nog in een experimentele fase, waarbij wordt gehoopt dat “dit nieuwe type vistuig zo spoedig mogelijk door minimaal enkele tientallen vissers in gebruik wordt genomen”, aldus de huidige directeur van het Productschap Vis. Over de kosten van het nieuwe vistuig is nog niet veel bekend (Schenkel, 2005). Er wordt verwacht dat het tuig en de techniek duurder zullen zijn dan de huidige boomkortechiek (Mondelinge mededeling Schoute, 2005). Tegenover de hogere investeringskosten staat echter ook een aantal grote kostenbesparingen zoals hierboven duidelijk is gemaakt (Schenkel, 2005).

³ Vanwege juridische processen en patenten wordt de exacte veldpotential die wordt geproduceerd hier niet vermeld, maar wordt het wel bij de afweging meegenomen.



Figuur 3. Een schematische weergave van de pulskor. In plaats van de conventionele wekkerkettingen is de pulskor uitgerust met elektrodendragers, een soort kunststof hulzen waarin elektroden zitten, die over de bodem glijden (Gebaseerd op Steward, 1978)

2 Haaien en roggen als bijvangst

In dit hoofdstuk wordt een overzicht worden gegeven van de soorten haaien en roggen die als bijvangst in de netten van boomkorvissers terechtkomen.

2.1 Soorten haaien en roggen

Met betrekking tot de pulskor is geen informatie bekend over bijvangst van haaien en roggen. De soorten haaien en roggen die doorgaans in de netten terecht komen zijn daarom afgeleid van oudere verslagen over de boomkor.

In tabel 2 staan de resultaten weergegeven van twee onderzoeken. Het eerste onderzoek bevat vangstgegevens die in de periode tussen 1945 en 1981 zijn verzameld door vissers (Philippart, 1998). Het tweede onderzoek is een casestudy, uitgevoerd door Gill en Taylor (2001), die alle haaien en roggen in de wateren rondom Engeland hebben geïnventariseerd. Op basis van de resultaten van beide onderzoeken is te zien welke haaien- en roggensoorten het meest voorkomen en worden gevangen in de Noordzee. Naast de soorten die in tabel 2 zijn weergegeven komen echter veel meer soorten voor in de Noordzee. Deze worden niet besproken omdat ze zelden in de netten van vissers te vinden zijn.

In de Noordzee is de meest gevangen haaiensoort de hondshaai (*Scyliorhinus canicula*) en de meest gevangen rog de stekelrog (*Raja clavata*). Deze twee soorten zijn ook meerdere malen gevangen tijdens de cruise op het onderzoekschip de Tridens van het Ministerie van LNV (Eigen waarneming, januari 2005).

Wetenschappelijke naam	Nederlandse naam (Common name)	Referentie
<i>Mustelus mustelus</i>	gladde haai (Smooth hound)	*,**
<i>Scyliorhinus canicula</i>	hondshaai (Lesser-spotted Dogfish)	*,**
<i>Squalus acanthias</i>	doornhaai (Spiny Dogfish/Spurdog)	**
<i>Raja clavata</i>	stekelrog (Thornback Ray)	*,**
<i>Raja batis</i>	vleet (Common Skate)	*,**
<i>Dasyatis pastinaca</i>	pijlstaartrog (Stingray)	*,**

Tabel 2. Soorten haaien en roggen die regelmatig als bijvangst in de netten van vissers worden gevonden (Referentie: Philippart, 1998* ; Gill & Taylor, 2001**)

2.2 Vangsten van haaien en roggen

Haaien en roggen zijn voor de Nederlandse boomkorvisserij commercieel niet interessant, maar worden regelmatig als bijvangst gevangen (Heessen, 2003). Deze vangsten worden meestal niet gerapporteerd of weergegeven in de vangstgegevens, waardoor het erg lastig is het precieze aantal gevangen haaien te schatten. Het is wel bekend dat het aantal met de boomkor gevangen haaien en roggen, erg klein is vergeleken met de totale visvangst. Dit blijkt onder andere uit het onderzoek van Rijnsdorp (*et al*, 1996), waarin het gemiddelde aantal gevangen haaien en roggen per uur werd berekend gedurende een bepaald tijdsvak (de zogenaamde “Mean Standardized Catch”). In de periode tussen 1990 en 1995 bedroeg deze voor haaien en roggen respectievelijk 0,1 en 0,2 per uur (zie tabel 3) en voor platvis 2475,5 per uur. Vergeleken met de periode tussen 1906 en 1909 is de vangst van haaien en roggen enorm afgenomen ondanks het feit dat de vangsten van onder andere platvissen wel zijn toegenomen. Volgens de onderzoekers is sprake van een (graduele) verdwijning van haaien en roggen uit de kustwateren gedurende de afgelopen eeuw alsmede een afname van vangsten.

De precieze redenen hiervoor zijn onbekend, maar dat de bijvangsten in de visserij en overbevissing een rol spelen wordt niet uitgesloten..

	Boomkor 1906-1909	Boomkor 1990-1995
Visuren	151	211
Haaïen	0,2	0,1
Roggen	3,0	0,2
Platvis	269,0	2475,5
Overig*	50,6	492,8

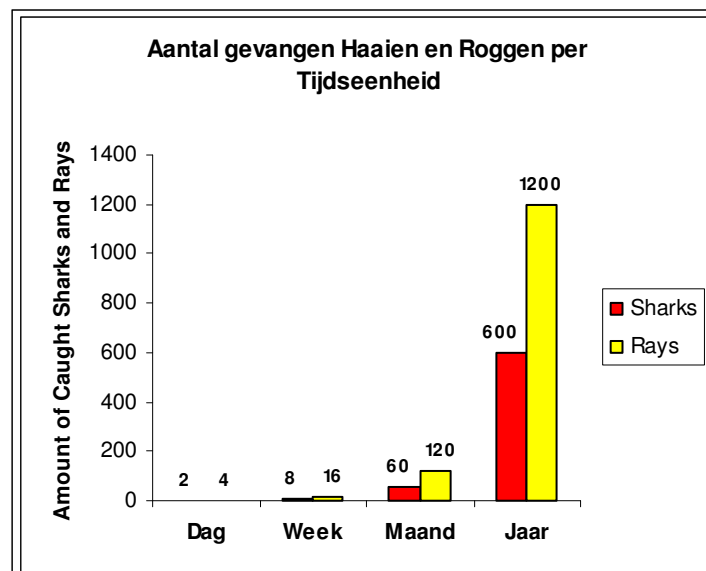
Tabel 3. Het aantal visuren en het gemiddelde aantal haaïen, roggen en platvissen (in aantallen per uur, vergeleken met de totale vangst van bodemvissen) in de periodes 1906-1909 en 1990-1995 in een bepaald gebied van de Noordzee (Gebaseerd op Rijnsdorp *et al.*, 1996)

Overig*= rondvis, poon en andere bodemvissoorten

De resultaten van Rijnsdorp zijn gebruikt om zelf een aantal berekeningen uit te voeren met betrekking tot vangstaantallen in verschillende tijdschaders. De volgende vangstcijfers en aannames zijn toegepast:

- 0,1 haai per uur per kotter (uit de periode 1990-1995)
- 0,2 rog per uur per kotter (uit de periode 1990-1995)
- 20 visuren per dag (er wordt anderhalf uur achtereenvolgens gevist, waarna het net wordt opgehaald, wat continu gebeurt zodra de visgronden bereikt zijn)
- 4 dagen per week
- 10 maanden per jaar

Verder zijn de meest recente vangstcijfers gebruikt, die een globaal overzicht geven van vangsten in de periode 1990-1995. De uitkomsten van de berekening zijn grafisch weergegeven in figuur 4.

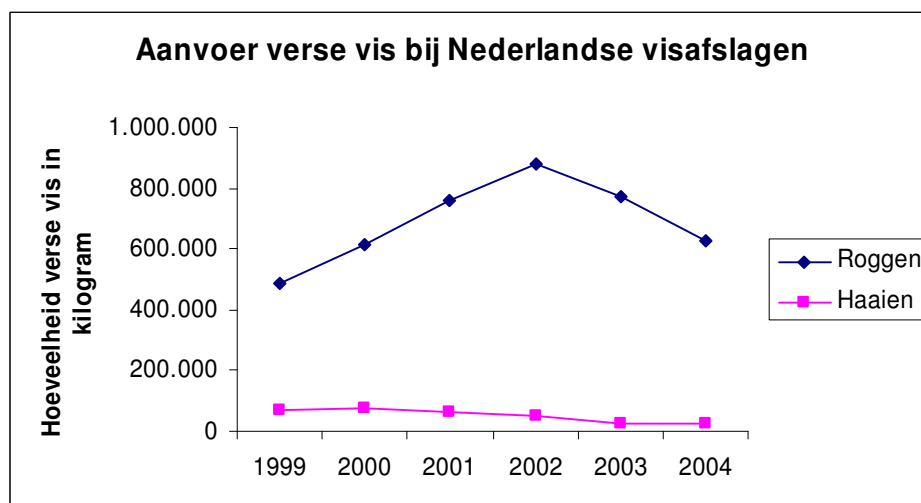


Figuur 4. Eigen berekening van het aantal gevangen haaïen en roggen per tijdseenheid, gebaseerd op de Mean Standardized Catch Rates voor één kotter (Rijnsdorp *et al.*, 1996)

Door de aannames bevat de berekening een aantal tekortkomingen. Zo is geen rekening gehouden met seizoensgebonden aanwezigheid van haaien en roggen en zijn ook de vaartijden van en naar de vissstek niet meegerekend. Daarnaast is een vistijd van 20 uur per dag, 4 dagen per week een goede benadering, maar wordt bijvoorbeeld onderhoud niet meegerekend, waardoor er sprake van onderschatting kan zijn.

Uit figuur 4 blijkt dat er in de periode 1990-1995 per jaar ongeveer 600 haaien en 1200 roggen zijn gevangen. Er van uitgaande dat in die periode per jaar gemiddeld 475 (zie tabel 1) kotters visten komt dit neer op een totaal van 285.000 haaien en 570.000 roggen per jaar in de periode 1990-1995 door de gehele kottervloot. Ondanks het feit dat de vangstcijfers voor haaien en roggen laag blijven en ook uit gesprekken met vissers blijkt dat haaien en roggen wel worden gevangen, maar niet vaak in de netten terechtkomen, wijst deze berekening erop dat het aantal jaarlijks gevangen haaien en roggen toch aanzienlijk is.

Naast het onderzoek van Rijnsdorp (*et al.*, 1996) beschikt ook het Productschap Vis over concrete cijfers van aangelande aantallen haaien en roggen (als verse vis⁴ en in kilogrammen) (Productschap Vis, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003a & 2004). Deze cijfers zijn grafisch weergegeven in figuur 5. Hierbij moet worden opgemerkt dat de aanvoercijfers van haaien standaard als jaartotaal worden opgegeven door het productschap, terwijl de aanvoercijfers voor roggen, net als bij vissoorten voor consumptie, per kwartaal worden opgegeven. Deze kwartaalcijfers zijn bij elkaar opgeteld.



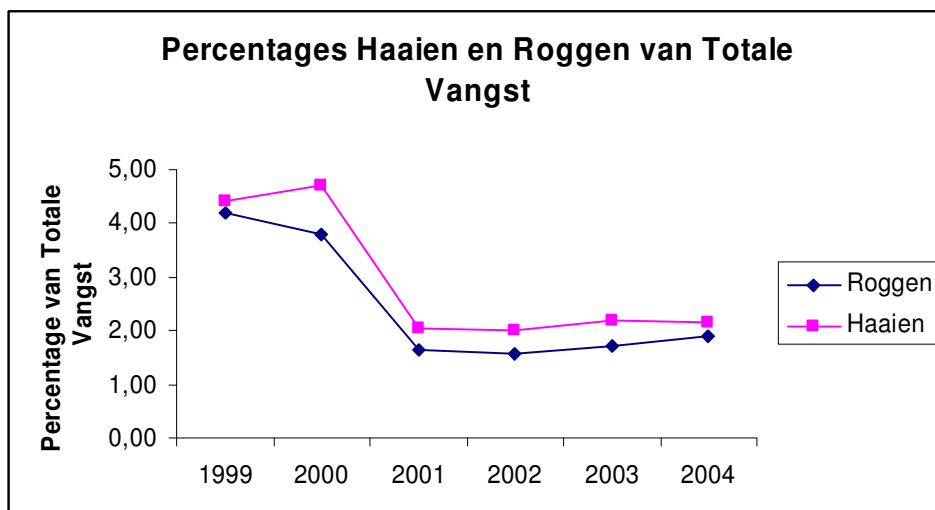
Figuur 5. Totaal van de aanvoer van verse vis (roggen en haaien: in kg) bij Nederlandse afslagen (Gebaseerd op cijfers van het Productschap Vis, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003a, 2004)

Uit de cijfers van het productschap vis blijkt dat de aanvoer van haaien afneemt en de aanvoer van roggen toeneemt in de periode van 1999 tot 2004 (met een sterke toename tussen 1999 en 2003). De aanvoercijfers kunnen gekoppeld worden aan de vangstcijfers, waardoor dezelfde uitspraken over de vangsten kunnen worden gedaan.

Naast cijfers over de aanvoer van verse vis naar de visafslag zijn ook de vangstpercentages van haaien en roggen berekend door het Productschap Vis.

In de periode tussen 1999 en 2004 bestond gemiddeld 2,47% van de totale vangst uit roggen en 2,92% uit haaien (zie figuur 6).

⁴ Via omrekenfactoren worden de vangsthoeveelheden levend gewicht omgezet naar aanvoer dood gewicht. Voor verse vis is een omrekenfactor van toepassing, waarbij dood gewicht gemiddeld 9% minder weegt dan levend gewicht. Dit verschil wordt onder ander veroorzaakt door bewerking en bewaring van vis aan boord. Zo wordt veel gevangen vis aan boord van ingewanden ontdaan(gestript) en wordt verse vis onder ijs bewaard.



Figuur 6. Vangstpercentages van haaien en roggen in relatie tot de totale vangst in een jaar (Gebaseerd op cijfers van het Productschap Vis, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003a, 2004)

In figuur 6 is een algemene daling te zien in vangstpercentages van haaien en roggen gedurende de periode 1999-2004. Hierbij blijft het aantal vangsten min of meer op hetzelfde niveau als dat van 2001 tot 2004. Jammer genoeg zijn beide onderzoeken niet gespecificeerd naar soort, wat bij onderzoeken van ICES wel het geval is. Onderzoek van de ICES in 2004 naar de populaties en standing stock van haaien en roggen in het noordoostelijk deel van de Atlantische Oceaan wees uit dat verschillende soorten haaien en roggen in dat gebied juist in aantal toenamen. De verklaringen hiervoor lopen uiteen. Als voorbeeld worden hieronder een paar haaiensoorten uit het ICES-onderzoek behandeld.

Van de doornhaai (*Squalus acanthias*) is de populatie in het noordoostelijk deel van de Atlantische Oceaan teruggelopen tot 5% van de oorspronkelijke biomassa. Absolute aantallen van de populatie zijn nog niet bekend, wel is het zo dat de aanvoer van deze dieren op de visveiling het laagst is sinds de tweede wereldoorlog (zie figuur 7). Toch heeft de terugloop geen aanleiding gegeven tot het stopzetten van het vissen op doornhaaien. Deze visserij is nog steeds winstgevend, ondanks het feit dat de soort steeds moeilijker is te lokaliseren door de vissers, hetgeen ook wijst op een teruggang. De teruglopende vangsten van doornhaaien in het noordoosten van de Atlantische Oceaan worden door sommige Europese landen gecompenseerd door deze te importeren vanaf de noordwestelijke Atlantische Oceaan.

De doornhaai neemt in aantal af, maar de hondshaai neemt juist toe. Uit recent Europees onderzoek, de Development of Elasmobranch Assessment (Heessen, 2003), blijkt dat de biomassa van de hondshaai aan de noordelijke Spaanse kust toeneemt. Ook data van een International



Figuur 7. Geschatte aanvoer van doornhaaien in alle ICES-viszones van 1905 tot 2000 (ICES, 2004)

Bottom Trawl Survey (IBTS) in de Noordzee laten zien dat de hondshaai in aantal toeneemt van 1990 tot 2004. Deze trend lijkt ook in andere gebieden van de noordoostelijke Atlantische Oceaan voor te komen en zal verder worden onderzocht in 2006. De redenen voor de toename van hondshaaien zijn niet eenduidig. Enerzijds lijkt het erop dat de hondshaai misschien toch

weinig negatieve effecten ondervindt van de boomkorvisserij. Anderzijds kunnen de effecten ook indirect aan de visserij zijn gerelateerd. Hierbij kan worden gedacht aan het wegvissen of verdwijnen van directe concurrenten of door een toename in voedselaanbod (de hondshaai voedt zich met (dode) bijvangst). Het kan echter ook te maken hebben met klimatologische veranderingen.

Net als de doornhaai doet ook de stekelrog (*Raja clavata*) het niet zo goed als de hondshaai (zie figuur 8). Honderd jaar geleden was de stekelrog zeer algemeen in de gehele Noordzee, terwijl deze vandaag de dag alleen nog voorkomt op kleine patches, met een concentratie in het zuidelijke deel van de Noordzee.



Figuur 8. Geschatte aanvoer van stekelroggen in alle ICES- viszones van 1975 tot 2004 (ICES, 2004)

Ondanks de relatief lage aantallen haaien en roggen die worden gevangen zijn de gevolgen van de vangst voor de populatie erg groot. Doordat haaien en roggen een zogenaamde K-strategie hanteren, worden de populaties van deze soorten meer beïnvloed dan dat van schollen, die de r-strategie hanteren (Stevens *et al.*, 2000). Een K-strategie of “K-selected life strategy” houdt in dat individuen langzaam groeien, op late leeftijd vruchtbaar zijn, een lagere vruchtbaarheid hebben, lang leven en blootgesteld zijn aan een lage natuurlijke sterfte.

De r-strategen daarentegen worden gekarakteriseerd door snelle groei, vruchtbaarheid op jonge leeftijd, een hoge vruchtbaarheid, ze leven korter en zijn blootgesteld aan een hoge natuurlijke sterfte (bijvoorbeeld haring en schol). Ondanks dat dit beeld enigszins is gesimplificeerd, ook haaien- en roggenpopulaties ondervinden fluctuaties, heeft de K-strategie toch grote gevolgen voor haaien en roggen in relatie tot de visserij (ICES, 2004).

Haaien en roggen zijn zelfs in zo'n grote mate aangepast aan hun omgeving dat ondanks de lage reproductieve output de populaties onder natuurlijke omstandigheden stabiel zijn. De aanpassing gaat op dit moment zelfs zo ver, dat de snelheid waarmee de roggenpopulaties in de Noordzee achteruitgaan, samenhangt met het aantal jaren dat ze nodig hebben om volwassenheid te bereiken: die periode hangt op zijn beurt samen met de grootte die de dieren bereiken (Walker & Heessen, 1996; Walker & Hislop, 1998). Doordat haaien en roggen al 400 miljoen jaar bestaan op aarde zijn gedurende de evolutie groei, reproductie en sterfte met elkaar in evenwicht gekomen. De langzame levensstijl heeft haaien en roggen tot zeer succesvolle diersoorten gemaakt in de afgelopen miljoenen jaren. Op dit moment wordt echter de anthropogene invloed op de dieren steeds groter. De visserij onttrekt haaien en roggen met een bepaalde regelmaat uit hun omgeving, waarbij de individuele gevolgen erg groot zijn. De dieren worden meestal zeer beschadigd afgeleverd op de visveiling (Heesse, 2003). Haaien en roggen worden na vangst wel weer overboord gezet, maar aangenomen wordt dat de sterfte daarna net zo hoog is als bij beenvissen zoals schol en tong het geval is (Stevens *et al.*, 2000). Dat betekent dat er meer individuen uit de populatie worden weggenomen dan er door reproductie bijkomen. Verwacht zou worden dat de meeste soorten gevangen haaien en roggen hierdoor in aantal af zullen nemen. Dit gaat echter niet in alle gevallen op.

Terwijl de cijfers van zowel het Productschap Vis als van Rijnsdorp en medewerkers impliceren dat de vangsten, en daarmee de aantallen, van haaien en roggen dalen, toont onderzoek van de ICES aan dat niet alle soorten in aantal achteruit gaan. Daarom is het jammer dat bij de visserijonderzoeken van de twee eerstgenoemde organisaties geen onderscheid tussen verschillende soorten wordt gemaakt, zoals dat wel gebeurt bij plat- en rondvissen. De cijfers van het Productschap Vis en de ICES zijn overigens een onderschatting

van de daadwerkelijke vangst van haaien en roggen, omdat alleen de aantallen die worden aangevoerd op de visveiling worden meegerekend en niet de bijvangsten. In dit opzicht lijken de cijfers van Rijnsdorp een betere benadering, hoewel het extrapoleren van deze data enkele aannames met zich meebrengt.

3 De elektroreceptoren van haaien en roggen

In dit hoofdstuk wordt kort de historie achter de ontdekking van elektroreceptoren bij vissen, haaien en roggen beschreven. Vervolgens wordt dieper ingegaan op de locatie, fysiologie en sensitiviteit van elektroreceptoren bij haaien en roggen.

3.1 Achtergrond

De elektroreceptoren van kraakbeenvissen staan ook bekend als de Ampullen van Lorenzini. De Ampullen van Lorenzini werden in 1663 voor het eerst ontdekt door Marcello Malpighi, waarna ze door Stephano Lorenzini in 1678 in detail zijn beschreven. De functie van de elektroreceptoren is echter niet door Stephano Lorenzini ontdekt, maar per ongeluk door Parker en van Heusen in 1917 (Kalmijn, 1971).

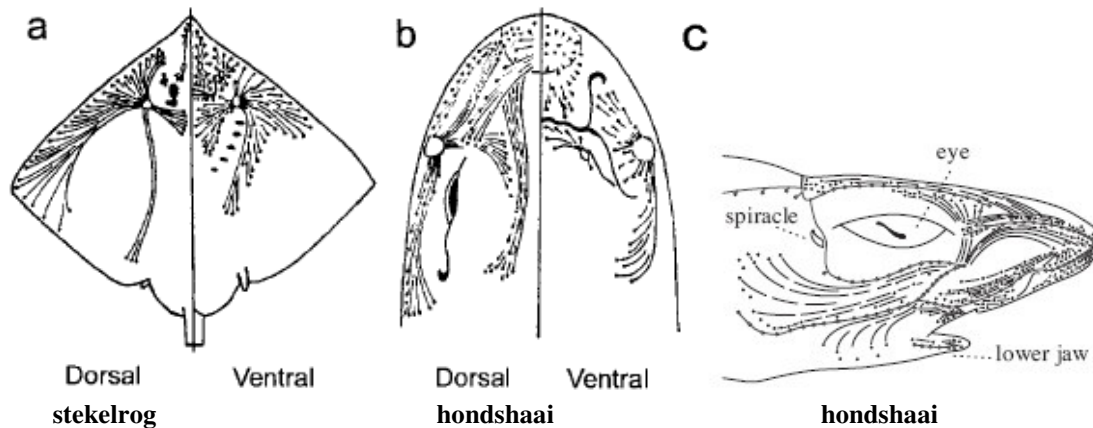
Parker en van Heusen deden in die tijd onderzoek naar de elektrosensitiviteit van vissen door middel van gedragsexperimenten met zoetwatermeervallen (*Amiurus nebulosus*). Ze ontdekten dat een geblinddoekte meerval extreem sensitief is voor metalen staafjes in water, terwijl glazen staafjes geen reactie teweegbrachten. De meervallen reageerden al op een metalen staafje op een afstand van enkele centimeters en zodra er meerdere metalen staafjes werden aangeboden zwom de meerval weg. Dit experiment werd vervolgens herhaald, maar dan met twee elektroden op 2 cm van elkaar waar zwakstroom doorheen werd geleid. In dat geval zwommen de meervallen naar de elektroden toe en knabbelden eraan bij een stroom minder dan 1 μA en vertoonden ontwijkgedrag bij 1 μA of meer.

Na de ontdekking van elektrosensitiviteit bij *Amiurus* werden door verschillende wetenschappers steeds meer vissoorten gevonden die elektrosensitief bleken te zijn, zowel zoet- als zoutwatervissen. Zo ontdekten Kalmijn en Dijkgraaf dat de in de Noordzee voorkomende hondshaai (*Scyliorhinus canicula*) en de stekelrog (*Raja clavata*) ook elektrosensitief waren en dat de elektrische signalen werden gedetecteerd door de Ampullen van Lorenzini (Dijkgraaf & Kalmijn, 1962; 1963; Kalmijn, 1966).

3.2 De locatie van elektroreceptoren

Vanwege een verschil in morfologie tussen haaien en roggen verschilt ook de locatie en distributie van de elektroreceptoren. Het morfologisch verschil is al bij de eerste oogopslag te zien. Zo hebben haaien een ronde lichaamsvorm met ogen aan beide zijden van het lichaam, terwijl roggen een dorsaalventraal afgeplat lichaam bezitten, met de ogen op de rugzijde.

De ronde lichaamsvorm van haaien heeft tot gevolg dat ook de kop elliptisch gevormd is, wat een direct effect heeft op de locatie en verspreiding van de elektroreceptoren. Bij haaien zijn de elektroreceptoren dan ook overvloedig aanwezig aan de kopzijde (rostrale zijde) van het dier in de vorm van discrete clusters (zie figuur 9b & 9c). Op deze manier is de haai in staat elektrische velden te detecteren vanuit meerdere hoeken (driemensionaal). Electroreceptoren zijn alleen op de kop van de haai te vinden en niet op de rest van het lichaam. Wat tot gevolg heeft dat elektrische signalen gericht moeten zijn op de kop om gedetecteerd te kunnen worden.



Figuur 9. Overzicht van de distributie van de elektroreceptoren (kleine zwarte stippen) bij de stekelrog (*Raja Clavata*) (a) en de hondshaai (*Scyliorhinus canicula*) (b, c). Kleine zwarte lijnen geven de individuele kanalen van de elektroreceptoren weer (a,b: Murray, 1960. In: Tricas, 2001; c: Kalmijn 1963, 2003).

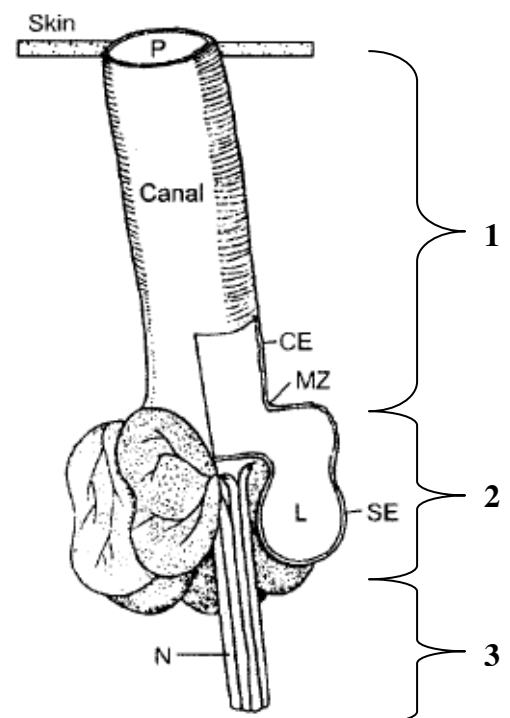
Net als bij haaien zijn bij roggen alleen de mond en de snuit voorzien van elektroreceptoren (figuur 9a). De afgeplatte lichaamsvorm van roggen heeft gevolgen voor de richting van de receptorkanalen, deze bevindt zich in een horizontaal vlak (Dijkgraaf & Kalmijn, 1963; Tricas, 2001 & Raschi, 1978; Bodznick & Boord, 1986 & Raschi, 1988. In: Gill & Taylor, 2001). Hierdoor kan de rog alleen elektrische signalen opvangen vanaf de buikzijde en dat kan alleen als het dier eroverheen zwemt (Dijkgraaf & Kalmijn, 1963 & Kalmijn, 1969).

3.3 Fysiologie van elektroreceptoren

Elke elektroreceptor werkt als een zelfstandig, functioneel onderdeel, maar vormt samen met alle andere elektroreceptoren het elektroreceptiesysteem dat zo karakteristiek is voor haaien en roggen.

Een voorbeeld van een elektroreceptor van een stekelrog is weergegeven in figuur 10. Een elektroreceptor is een complex orgaan dat uit drie onderdelen bestaat: (1) het "receptorkanaal" (Ampullary Canal), dat van de huid naar de binnenkant (het lumen) van de (2) alveoli gaat. De alveoli zijn verantwoordelijk voor het detecteren van het elektrisch signaal en geven dit door aan (3) een neuron, die het signaal vervolgens weer doorgeeft aan het centraal zenuwstelsel.

De drie onderdelen van een elektroreceptor worden verder in detail besproken in de volgende paragrafen.

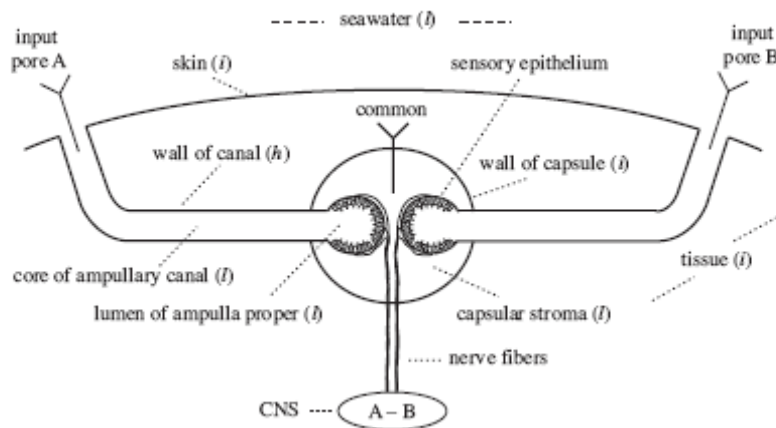


Figuur10. Een overzicht van een elektroreceptor van een stekelrog (*Raja clavata*) (Gebaseerd op Tricas, 2001; Murray, 1962; Montgomery, 1984; Tricas & New, 1998; Waltmann, 1966. In: Tricas, 2001)

3.3.1 Het receptorkanaal

Vanuit een porie in de huid van een haai of rog loopt een onderhuids kanaal, het receptorkanaal over in het lumen (L) van de alveoli (zie figuur 10). Hierbij gaat ook het kanaalepitheel (Canal Epithelium = CE) via de marginale zone (MZ) over in het sensorisch epitheel (SE) dat de binnenkant van de alveoli bekleedt.

Het onderhuids kanaal is ongeveer 1 mm breed en verschilt in lengte, afhankelijk van de afstand tussen twee poriën. Figuur 11 laat schematisch twee keer figuur 10 zien: twee tegenover elkaar staande elektroreceptoren van een pijlstaartrog. De afstand tussen twee poriën van de pijlstaartrog uit figuur 11 bedroeg in werkelijkheid 10 cm (de figuur is niet op schaal), wat betekent dat de afzonderlijke kanalen allebei ongeveer 5 cm lang zijn. Dezelfde lengtes zijn ook gevonden bij de hondshaai (*Scyliorhinus canicula*) en de stekelrog (*Raja clavata*; Kalmijn, 2003). Andere onderzoekers vonden zelfs kanalen van tien centimeter lang (Schmidt-Nielson, 1997; Von der Emde, 1988; Murray, 1974; Zakon, 1986; Adair *et al.*, 1998. In: Gill & Taylor, 2001).



Figuur 11. Een paar tegenover elkaar staande elektroreceptoren van een pijlstaartrog, *Urolophus halleri* (Kalmijn, 2003)

SE = Sensorisch epitheel; RC = Receptorcel; SC = Steuncel; VREF = Referentiepotentiaal

Een elektrisch signaal moet na detectie op het sensorisch epitheel direct worden omgezet in een signaal naar de hersenen. Het is dus van belang dat de lengte van de receptorkanalen geen invloed heeft op de overdracht van het signaal. De receptorkanalen zijn daarom gevuld met een gel, die bijna geen weerstand biedt en over een hoog geleidend vermogen beschikt (Murray & Potts 1961, Doyle 1963 in Tricas, 2001). De gel bestaat voornamelijk uit kaliumionen en is opgebouwd uit matrices van mucopolysaccheriden, waardoor de weerstand van de gel ongeveer overeenkomt met die van zeewater, ongeveer 25-30 Ohm per cm (Schmidt-Nielson, 1997; Von der Emde, 1988; Murray, 1974; Zakon, 1986; Adair *et al.*, 1998. In Gill & Taylor, 2001).

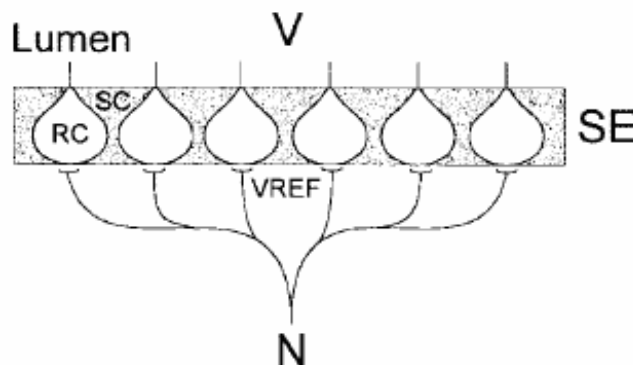
In tegenstelling tot het geleidende lumen heeft de wand van het kanaal juist een hele hoge weerstand. Dit komt doordat de kanaalwand bestaat uit een dubbele laag platte cellen, omgeven door bindweefsel. De verschillen in weerstand tussen de verschillende elementen van de elektroreceptor is schematisch aangegeven in figuur 11: (l) staat voor lage weerstand, (i) voor gemiddelde weerstand en (h) voor hoge weerstand.

De eigenschappen van het receptorkanaal zorgen ervoor dat er geen wijzigingen optreden in het elektrische signaal tussen het binnenkomen via de porie en de detectie door het sensorisch epitheel in de alveoli (Tricas, 2001). Hierdoor kan het receptorkanaal gezien worden als een elektrische geleider, waarbij het binnenkomende signaal enorm in sterkte toeneemt, omdat het

overgaat van een aantal centimeter (het kanaal) in een paar nanometer (het sensorische epitheel) (Kalmijn, 2003).

3.3.2 De alveoli en het sensorisch epitheel

De receptorkanalen in elektroreceptoren zijn gespecialiseerd in het doorgeven van elektrische signalen aan het detectiemechanisme in het sensorisch epitheel van de alveoli. In het sensorisch epitheel bevinden zich zowel receptorcellen (RC) als piramidevormige steuncellen (SC). Tussen receptor- en steuncellen bevinden zich afdichtende sluitcellen, de zogenaamde “tight junctions”⁵, waardoor er een elektrische barrière wordt gevormd (zie figuur 12). Deze barrière heeft tot gevolg dat er een voltagegradiënt (V) ontstaat tussen het lumen en de rest van het lichaam, dat dienst doet als referentiepotentiaal (V_{REF}).



Figuur 12. Een schematisch overzicht van het sensorische epitheel van een stekelrog (*Raja clavata*) (Tricas, 2001; Murray, 1962; Montgomery, 1984; Tricas & New, 1998; Waltmann, 1966. In: Tricas, 2001)

Het detecteren van een elektrisch signaal gaat als volgt. Eén elektroreceptor bevat ongeveer 100 receptorcellen (Kalmijn, 2003). Deze receptorcellen zijn allemaal uitgerust met een haarvormige receptor, een zogeheten kinocilium⁶, op de top van de cel die het lumen insteekt (zie figuur 12). Deze haarvormige receptor zorgt voor de uiteindelijke detectie van het elektrische signaal en werkt als een voltmeter. Door de geleidende eigenschappen van de kaliumgel in het lumen ondervinden alle receptorcellen dezelfde voltage.

3.3.3 De overdracht van elektrische signalen

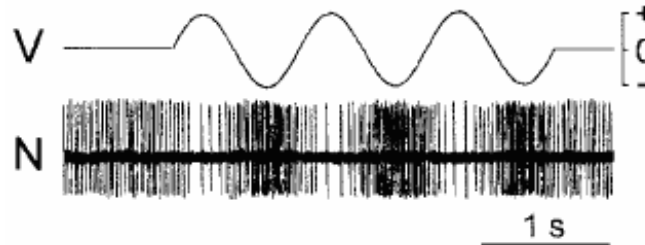
Nadat een elektrisch signaal een porie van het elektrosensorisch systeem heeft bereikt en via het receptorkanaal op het sensorisch epitheel is beland en vervolgens is gedetecteerd door de receptorcellen, moet het op de een of andere manier worden gemeten en doorgegeven aan de hersenen.

Het “meten” van een elektrisch signaal gebeurt door de trilharen op de receptorcellen in het sensorisch epitheel van de alveoli. Deze receptoren vergelijken hiervoor het referentiepotentiaal van het lichaam (V_{REF}) met het potentiaal van het lumen (V) (figuur 12). Zodra er een verschil wordt gemeten tussen V en V_{REF} wordt er door middel van neurotransmitters een signaal afgegeven aan het centraal zenuwstelsel. Zoals in figuur 12 is te zien is elke receptorcel verbonden met minimaal 1 primaire afferente neuron die direct in contact staat met het centraal zenuwstelsel. Afferent betekent ergens naartoe brengen. Figuur 13 laat zien dat het signaalafgiftepatroon van een dergelijke neuron (N) wordt bepaald door

⁵ Een tight junction is een afdichtende aansluiting tussen (minimaal) twee cellen, waardoor deze gezamenlijk een barrière vormen en zo de uitwisseling van stoffen voorkomen. Ze hebben ook een elektrisch isolerende werking (Bron: Lawrence, E. (2000).

⁶ Een beweeglijke trilhaar, waarbij de werking gelijk is aan de werking van een trilhaar aan het uiteinde van een sensorische haarcel in het binnenste van het menselijk oor.

het potentiaal van het lumen (V). Een kathodische (-) stimulus verhoogt de afgifte van neurotransmitters, terwijl anodische stimuli de afgifte verlagen. Uit het signaal dat wordt afgegeven door de receptorcellen wordt daarna door de primaire afferente neuron de stimulus, amplitude en frequentie van het elektrische signaal bepaald, die vervolgens wordt doorgegeven aan het centraal zenuwstelsel (Kalmijn, 2003 & Tricas, 2001).



Figuur 13. Een weergave van het signaalafgiftepatroon (N) van een primaire afferente neuron verbonden aan een receptorcel (Tricas, 2001 & Murray, 1962; Montgomery, 1984; Tricas & New, 1998 & Waltmann, 1966. in Tricas, 2001) V = potentiaal van het lumen

3.4 De detectie van elektrische signalen

In deze paragraaf wordt dieper worden ingegaan op twee typen elektrische signalen: een Lokaal Polair Veld en een Extern Uniform Veld. Doordat haaien en roggen zelfs de meest subtiele elektrische signalen kunnen waarnemen met hun elektroreceptoren zijn ze in staat beide typen waar te nemen, maar wel op een verschillende manier (Tricas, 2001).

3.4.1 Lokaal polair veld

Lokale polaire velden of bio-elektrische velden zijn over het algemeen vrij zwakke polaire velden en worden van nature uitgezonden door potentiële prooien van haaien en roggen (Tricas, 2001 & Kalmijn, 1969, 1974).

De meeste organismen zijn niet in staat zelf elektriciteit te produceren, toch kunnen ze (zwakke) elektrische velden uitzenden. Deze elektrische velden worden door spierbewegingen opgewekt, zoals via ademhalen, samentrekking van de hartspieren en activiteiten rondom de anus. Maar de opwekking kan ook worden geïnitieerd door elektrochemische verschillen tussen de interne omgeving van het dier en het omringende zeewater. Een vis beweegt bijvoorbeeld zijn kieuwen op en neer bij het ademhalen. Daardoor wordt het epitheel van zijn kieuwen blootgesteld aan het water en ontstaat een elektrisch potentiaal (Bullock, 1973; Schmist-Nielson, 1997. In: Gill & Taylor, 2001; Lisney, 1999. In: Gill & Taylor, 2001; Kalmijn, 1969, 1974).

Er zijn twee typen polaire velden die kunnen worden geproduceerd door mariene organismen: gelijkstroom (Direct Current = DC) en wisselstroom (Alternating Current = AC). AC-velden worden vooral door hart en spieractiviteiten opgewekt, wisselen enorm in veldpotentiaal en zijn in het algemeen veel zwakker dan DC-velden. DC-velden worden opgewekt door biochemische processen, waardoor er (milli)voltpotentialen ontstaan tussen verschillen delen van het lichaam en tussen de lichaamsvloeistoffen en het omringende zeewater (Von dem Emde, 1998. In: Gill & Taylor, 2001; Bullock, 1973. In: Gill & Taylor, 2001):

Kalmijn (1971) was een van de eerste onderzoekers die de veldpotentialen geproduceerd door mariene organismen in kaart bracht. Hij mat het bio-elektrische veld van zowel gewervelde (vertebraten) als ongewervelde (evertrebraten) mariene organismen in gezonde en in verwonde toestand. De resultaten van zijn onderzoek zijn te zien in tabel 4.

Systematische positie	Aantal soorten	Max. DC onbehandeld $\mu\text{V/cm}$	Max. DC verwond $\mu\text{V/cm}$
Phylum Chordata:			
Osteichthyes	6	500	>500
Chondrichthyes	2	50	>50
Tunicata	4	100	--
Phylum Echinodermata:	17	10-80	~
Phylum Arthropoda			
Crustacea	4	50	1250
Phylum Mollusca:			
Gastropoda	4	100	~
Lamellibranchiata	3	10	>
Cephalopoda	2	1	>
Phylum Annelida	4	10	~
Phylum Sipunculoidea	1	10	~
Phylum Echiuroidea	1	10	~
Phylum Cnidaria	9	10	~
Phylum Porifera	3	1	~
Totaal: 60			

(> iets hoger; ~ Ongeveer gelijk; -- niet significant of niet gemeten)

Tabel 4. Resultaten van een onderzoek naar de bio-elektrische velden geproduceerd door verschillende phyla: Chordata (gewervelden), Echinodermata (stekelhuidigen), Arthropoda (geleedpotigen), Mollusca (weekdieren), Annelida (wormen), Sipunculoidea ("peanut worms"), Echiuroidea ("spoon-worms"), Cnidaria (neteldieren) en Porifera (sponzen) (Gebaseerd op Kalmijn, 1974)
DC = Direct Current = gelijkstroom

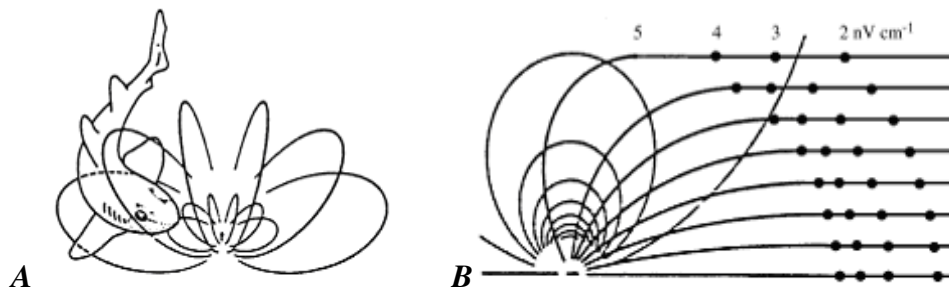
In totaal werd de DC-veldpotentiala van 60 verschillende soorten ($n = 120$) bij 9 phyla gemeten op ongeveer 1 mm afstand van het lichaamsoppervlak. Door dieren licht te verwonden heeft Kalmijn (1974) een poging gedaan om te kijken of ze daardoor een hogere DC-waarde produceren dan niet verwonde dieren. Door een verwonding staat namelijk meer intern weefsel in contact met het externe milieu, waardoor de DC-waarde hoger zou moeten liggen dan normaal. Hierdoor zou een verwond dier een gemakkelijkere prooi voor haaien en roggen kunnen vormen dan een niet verwond dier. Zijn hypothese dat verwonde dieren over het algemeen hogere DC-waarden hebben dan gezonde dieren werd bevestigd. Uitschieters zijn de Crustacea (kreeftachtigen), die bij (lichte) verwonding een DC-veld van 1250 μV per cm produceren

Bepaalde groepen, zoals beenvissen (Osteichthyes) vertoonden een grote variëteit aan gemeten DC - waarden, afhankelijk van soort en grootte (zie tabel 4). Ook haaien en roggen (Chondrichthyes) produceerden DC-waarden die over het algemeen lager waren dan die van beenvissen en ongeveer even groot als die van de meeste ongewervelde dieren.

Uit het onderzoek van Kalmijn kunnen een aantal ecologische conclusies worden getrokken met betrekking tot predator-prooi-relaties. Haaien en roggen voeden zich met vele soorten kreeftachtigen, weekdieren, wormen en beenvissen zoals bodemvissen. De DC-waarden van beenvissen en kreeftachtigen blijken hoger te zijn dan die van haaien en roggen. Hierdoor ondervinden haaien en roggen waarschijnlijk weinig problemen met het detecteren en vangen van deze dieren. Aangenomen mag worden dat ook kleinere individuen met lagere DC-waarden door haaien en roggen worden gevangen. Met de ontdekking van de bio-elektrische

velden kwam een einde aan de jarenlangdurende discussie over het wel of niet bestaan hiervan (Gill & Taylor, 2001; Kalmijn, 1974, 2003 & Montgomery & Bodznick, 1999).

In figuur 14 staat schematisch weergegeven hoe haaien en roggen een elektrisch signaal detecteren.



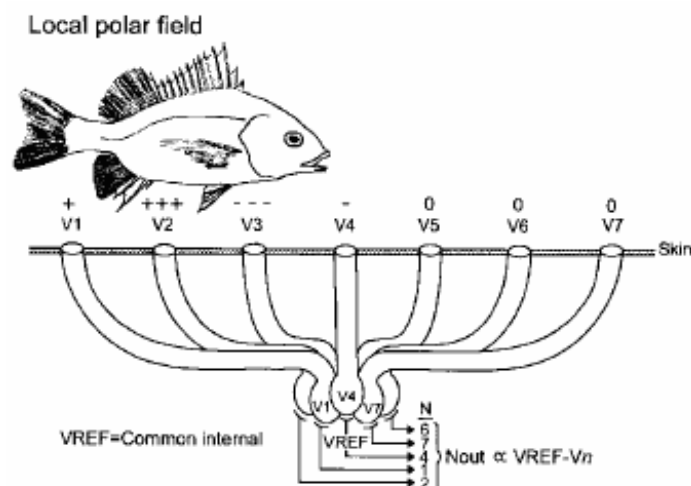
Figuur 14. Bio-elektrische velden en prooidetectie: A) Driedimensionale weergave van een dipool veld dat het bio-elektrische veld van een prooi simuleert. B) Zijaanzicht van het dipool veld (Von der Emde, 1998. In: Gill & Taylor, 2001; Kalmijn, 1997. In: Montgomery & Bodznick, 1999)

De bio-elektrische velden van een prooisimulatie zijn driedimensionaal weergegeven in figuur 14A; figuur 14B geeft een zijaanzicht weer. Elke zwarte stip in figuur 14B staat voor een andere veldpotentiala, oplopend in sterkte van rechts naar links en dus toenemend naarmate de afstand tot de bron kleiner wordt.

De haai nadert de veldpotentiala vanaf de eerste stip rechts, waarna hij de aanval inzet richting de hoogste veldpotentiala, in dit voorbeeld de vierde stip van rechts, met een elektrisch signaal van 5 nV/cm (Von der Emde, 1998. In: Gill & Taylor, 2001; Kalmijn, 1997. In: Montgomery & Bodznick, 1999).

Ondanks het zwakke elektrische signaal dat wordt uitgezonden, kunnen haaien en roggen de bron van het signaal gemakkelijk detecteren, zelfs als de prooi ingegraven zit in het zand. Dit komt doordat de elektroreceptoren in de huid van haaien en roggen ieder afzonderlijk andere signalen kunnen detecteren (Kalmijn, 1971, 2003; Paulin, 1995; Tricas, 2001).

Zodra een prooi dichterbij komt of als een haai of rog zijn prooi nadert, meten de elektroreceptoren op het huidoppervlak de veldpotentialen (V_N). De manier waarop dit gebeurt wordt weergegeven in figuur 15.



Figuur 15. Een lokaal polair veld geproduceerd door een prooi (Tricas, 2001)

In figuur 15 komt een prooi aanzwemmen van links. De prooi produceert zelf een zwak polair elektrisch veld, waarvan de veldpotentiala V_N (weergegeven van V1 tot en met V7) verschilt afhankelijk van de plek op het lichaam. Zodra deze prooi langs een haai zwemt, wordt de vis als het ware gevolgd via de elektroreceptoren op de huid van de haai. In het voorbeeld meet de haai een hoog potentiaal (V2 en V3) in het midden van de prooi.

Met dit systeem kan een haai ook een verborgen prooi detecteren (Gill & Taylor, 2000; Kalmijn, 1971, 2003; Paulin, 1995; Tricas, 2001). In dat geval is de haai de bewegende actor en zoekt deze bewust naar een hogere veldpotentiala. Kalmijn (1974) beschrijft dat een elektrisch signaal van een lokaal polair veld erg snel zwakker wordt naarmate de afstand tot de bron toeneemt. In tabel 5 is de signaalsterkte te zien die afkomstig is van een 15 cm lange platvis, gemeten bij verschillende afstanden. Hierbij is in ongeveer 10 cm de signaalsterkte afgenomen met een factor 1000.

Veldpotentiala (in $\mu\text{V/cm}$)	Afstand tot bron (in cm)
200	0,5
20	2
2	5
0,2	10

Tabel 5: Signaalsterkte van een 15 cm lange schol op verschillende afstanden gemeten (Gebaseerd op Kalmijn, 1974)

De verwerking van de veldpotentialen geschiedt zoals eerder beschreven in 4.3.3. Het gemeten veldpotentiala (V_N) wordt vergeleken met het interne referentiepotaal (V_{REF}), waarna er een signaal (N_{OUT}) wordt afgegeven aan de primaire afferente neuron (N), gelijk aan het verschil tussen V_{REF} en V_N . Haaien en roggen produceren zelf relatief zwakke elektrische signalen. Deze signalen vormen de basis voor het interne referentiepotaal (V_{REF}). Doordat het externe elektrische signaal is gescheiden van de interne omgeving en de signalen die geproduceerd worden door de prooi meestal hoger zijn dan het eigen signaal, hebben de intern geproduceerde elektrische signalen geen invloed op de detectie.

3.4.2 Extern uniform veld

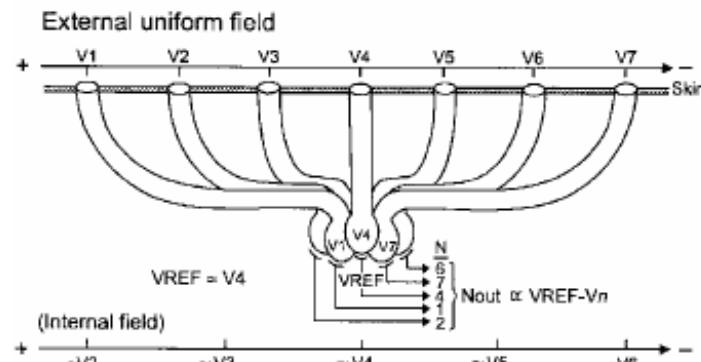
Het tweede type elektrische signaal is een extern uniform veld. Een uniform veld kent geen natuurlijke oorsprong, zoals het polaire veld, maar heeft een antropogene oorsprong. Voorbeelden zijn de elektrische velden die worden uitgezonden door (ingegraven) elektriciteitskabels op de zeebodem of door een pulskor.

Het lichaam van haaien en roggen reageert op een bijzondere manier op een uniform veld. Net als een lokaal polair veld wordt het elektrische signaal gedetecteerd door de elektroreceptoren, maar nu gaat het signaal niet alleen bij de receptoren naar binnen maar ook door de huid en verandert daar de interne referentiepotaal (V_{REF}).

Dit gebeurt zodra het lichaam helemaal door een elektrisch veld wordt omgeven, bijvoorbeeld wanneer een haai een uniform veld detecteert, of wanneer hij zich aan de rand van een groot dipool veld bevindt (Kalmijn, 1984. In: Kalmijn 2003 & Tricas, 2001)

De reden voor het feit dat een signaal in staat is gedeeltelijk door de huid van haaien en roggen heen te dringen, is dat deze een relatief lage weerstand heeft. Hierdoor wordt

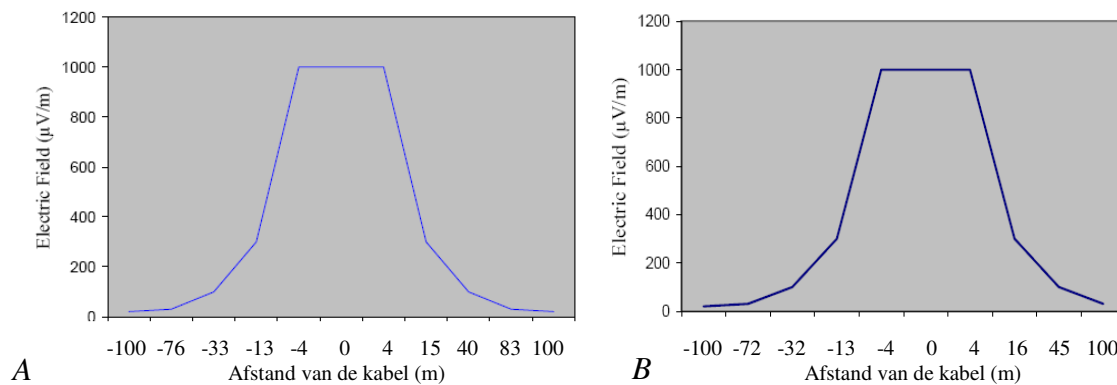
maximaal de helft van het externe uniforme veld via de huid doorgelaten (Kalmijn, 1974), ondanks het feit dat het lichaam van het dier een veel hogere weerstand heeft dan het omringende zeewater. De andere helft verplaatst zich parallel over het huidoppervlak en wordt dus gedetecteerd door de elektroreceptoren (Kalmijn, 1984. In Kalmijn, 2003). Het gevolg hiervan is dat zich een complicatie voordoet. Het normaliter onveranderlijke interne milieu (Bodznick *et al*, 1992. In: Montgomery & Bodznick, 1999) wordt verstoord doordat een gedeelte van het uniforme veld via de huid is doorgelaten. In figuur 16 is dit proces schematisch weergegeven.



Figuur 16. Het effect van een extern uniform veld op de interne referentiepotentiaal (V_{REF}) (Tricas, 2001)

Parallel aan het huidoppervlak zijn in de figuur twee veldpotentialen van het uniforme veld weergegeven. Aan de onderkant staat de veldpotentiaal die door de relatief lage weerstand van de huid is doorgelaten (internal field). Aan de bovenkant bevindt zich het externe uniforme veld dat zich parallel aan de huid ontwikkelt. Omdat hier het externe elektrische veld uniform is verdeeld, speelt de lengte van de receptorkanalen een rol bij de detectie van het signaal. Dit is niet het geval bij een lokaal polair veld. Het kortste kanaal (V_4) heeft het grootste effect op de interne referentiepotentiaal en is hierdoor bepalend. De neurale output (N_{OUT}) is nog steeds het verschil tussen de V_{REF} en de stimulus van de elektroreceptoren (V_N), waarbij de V_N een functie is van de lengte van het receptorkanaal (Tricas, 2001). De gevolgen voor het individu zijn dat de elektroreceptoren bij een uniform veld in eerste instantie een overdaad aan informatie binnenkrijgen, totdat een gedeelte van het signaal door de huid heen is gedrongen en de V_{REF} is veranderd.

De meeste onderwaterkabels zijn ingegraven in de zeebodem. Dat de signalen toch door de bodem heendringen is goed te zien in figuur 17.



Figuur 17. Een doorsnede van een elektrisch veld, gegenereerd door een 150kV kabel, met twee verschillende weerstanden van de omringende zeebodem (0,7 Ohm (A) en 1,75 Ohm (B) (Gebaseerd op Gill & Taylor, 2001)

Op de horizontale as (figuur 17A en 17B) staat de afstand tot de kabel in meters uitgezet tegen het elektrische veld in $\mu\text{V/m}$. Hierbij is goed te zien dat het veld, ongeacht de weerstand van de zeebodem, nog steeds zijn maximale sterkte ($1000 \mu\text{V/m}$) heeft tot op ongeveer 4 m afstand tot de bron. Dit signaal dooft, anders dan bij polaire velden, veel minder snel uit naarmate de afstand toeneemt. De veldpotentiala van een lokaal polair veld nam met een factor 1000 af over 10 cm (zie tabel 5), een uniform veld neemt ongeveer met een factor 1000 af (van $1000 \mu\text{V/m}$ naar $1 \mu\text{V/m}$) over een afstand van 100 m tot de bron.

De elektrische velden van onderwaterkabels zijn voor elektrosensitieve dieren omgevingssignalen van antropogene oorsprong en komen algemeen voor in de Noordzee. Ze kunnen dus een barrière vormen voor haaien en roggen vanwege de relatief hoge elektrische signalen die ze uitzenden (Gill & Taylor, 2001). De mogelijke komst van de pulskor in de nabije toekomst betekent dat nog meer uniforme velden worden toegevoegd aan de omgeving van haaien en roggen. Ook de relatief langzame uitdoving van signalen gaat op voor de pulskor.

4 Sensitiviteit van haaien en roggen

Dit hoofdstuk gaat in op de fysiologische eigenschappen van de elektroreceptoren van haaien en roggen. Daarnaast worden de resultaten besproken van experimenten waarin de reacties van haaien en roggen op elektrische velden zijn bestudeerd.

4.1 De fysiologie van hoge sensitiviteit

Niet alleen het hoge aantal elektroreceptoren rond de mond en snuit van haaien en roggen, maar ook de fysiologische eigenschappen daarvan dragen bij aan de efficiëntie van het elektroreceptiesysteem. Kort samengevat is de sensitiviteit van een enkele elektroreceptor het resultaat van de volgende fysiologische kenmerken (zie ook hoofdstuk 3).

- De geleiding van het elektrische signaal binnenin de elektroreceptor is zeer efficiënt doordat het lumen en het receptorkanaal gevuld zijn met een sterk geleidende gel en de wanden van het kanaal een hoge weerstand hebben. Hierdoor wordt het elektrische signaal zonder verlies van informatie direct geleid naar de plek waar het wezen moet: het detectieorgaan in het (dunne) sensorisch epitheel van de alveoli. Tijdens dit proces neemt de sterkte van het signaal toe.
- De lengte van het receptorkanaal speelt op zich geen rol in de elektrosensitiviteit van haaien en roggen. Het feit dat het kanaal lang genoeg is om de huid te doordringen heeft wel een positief effect en verhoogt de sensitiviteit met een factor twee (Kalmijn, 2003).
- Het elektrische signaal dat op het sensorisch epitheel binnenin de alveoli is gericht wordt ter plekke gedetecteerd door receptorcellen, uitgerust met voltmeters. Doordat binnenin het sensorisch epitheel de receptor- en steuncellen door middel van *tight junctions* met elkaar verbonden zijn wordt een hoge weerstand gecreëerd, waardoor het lumen van de elektroreceptor elektrisch gescheiden is van de interne omgeving. Daardoor treden geen interne verstoringen op en neemt de sensitiviteit toe (Tricas, 2001).

4.2 Gedragsonderzoek naar haaien en roggen

Verschillende onderzoekers hebben door middel van experimenten de reacties van haaien en roggen op elektrische velden bestudeerd. Gedragingen zoals ontwijking en vermijding van elektrische velden kunnen als een negatieve reactie van haaien en roggen worden opgevat.

Het meeste onderzoek naar de elektrosensitiviteit van haaien en roggen is gedaan aan hondshaaien (*Scyliorhinus canicula*) en stekelroggen (*Raja clavata*). Deze soorten komen het meest in de Noordzee en zijn zeer geschikt voor dit type onderzoek, omdat ze vanwege hun relatief kleine afmetingen gemakkelijk te hanteren en houden zijn.

Tabel 6 laat een overzicht zien van de onderzoekresultaten zoals die in de literatuur zijn te vinden. De linker kolom geeft weer om welke soort het gaat. Als de soort niet expliciet is genoemd in het artikel is de uitkomst van het onderzoek onder het kopje “Kraakbeenvissen (overig/onbekend)” geplaatst. Deze tests zijn in alle gevallen experimenteel van aard, waarbij is gekeken wat de reactie van een haai of rog is op een elektrisch veld met een bepaalde veldpotentiaal.

Soort	Voltage ($\mu\text{V/cm}$)	Reactie ^{Referentie}
Hondshaai <i>Scyliorhinus canicula</i>	< 0,1 3 1,5 – 60 0,1 10 0.1	Voedselzoekgedrag ¹ Waarneming ² Waarneming ² Reflex ³ Vermijding/wegzwemmen ⁴ Toezwemmen ⁴
Stekelrog <i>Raja clavata</i>	0,1 0.01-0.02	Reflex ³ Reflex ³
Kraakbeenvissen (overig/onbekend)	0,005 0,01 & 0,005 0,005	Waarneming ⁵ Waarneming ⁶ Veranderingen in gedrag ⁷

1 Kalmijn 1971, 1974

2 Dijkgraaf & Kalmijn, 1963

3 Kalmijn, 1966

4 Gill & Taylor, 2001

5 Murray, 1962; Kalmijn, 1966, 1982 in Paulin 1995

6 Von der Emde, 1998; Stevens, 1987; Tricas, 1983
& Bullock, 1982 in Gill & Taylor, 2001

7 Montgomery & Bodznick, 1999

Tabel 6. Gedragsonderzoek naar sensitiviteit van haaien en roggen

De haaien en roggen reageerden als volgt op de elektrische velden. Op een elektrisch signaal van 0,1 $\mu\text{V/cm}$ reageerden de dieren door middel van een zichtbaar reflex, zonder zwemactiviteit te vertonen. De hondshaai knipperde met de ogen (“winking with the eyes”), terwijl de stekelrog reflexmatig zijn hartritme verlaagde.

Bij de gedragingen voedsel zoeken (< 0,1 $\mu\text{V/cm}$), waarneming (0,01; 0,005; 3 & 1,5-60 $\mu\text{V/cm}$) en toezwemmen (0,1 $\mu\text{V/cm}$) zagen de proefdieren het elektrisch signaal voor een prooi aan en zwommen ze richting de prooi, waarna soms aan de elektroden werd geknabbeld. In één geval vertoonde de hondshaai vermijding gedrag, kennelijk werd het elektrisch veld als te hoog ervaren en zwom de haai van de elektrode af.

Het is lastig uit deze gedragingen eenduidige conclusies te trekken. De reacties van haaien op elektrische signalen zijn door bijna alle onderzoekers verschillend beschreven, terwijl een aantal gedragsbeschrijvingen toch zeker overeenkomsten vertoont. Daarom zijn in tabel 7 de gedragsbeschrijvingen op een andere manier ingedeeld dan in tabel 6 het geval was.

Voltage ($\mu\text{V}/\text{cm}$)	Gedragsbeschrijving	Soort
0,1	Reflexmatige reactie op signaal Geen actie	Hondshaai, stekelrog
0,005; 0,01; 3 & 1,5-60	Zichtbare reactie op signaal (Nog) geen voedselzoekgedrag	Hondshaai, overig
0,005 & 0,1	Zichtbare reactie op signaal Voedselzoekgedrag	Hondshaai, overig
10	Zichtbare reactie op signaal: Wegzwemmen	Hondshaai

Tabel 7. Onderzoekresultaten naar de sensitiviteit van haaien en roggen, waarbij de gedragingen opnieuw zijn ingedeeld vergeleken met tabel 6 (voor referenties zie tabel 6)

In tabel 7 is te zien hoe haaien en roggen zich gedragen in relatie tot verschillende voltages. Een probleem dat zich voordoet is de overlap bij de voltages en de daaraan verbonden gedragstypen. Zo heeft een veldpotential van $0,1 \mu\text{V}/\text{cm}$ in verschillende onderzoeken twee gedragstypen tot gevolg: een reflexmatige reactie zonder actie en een zichtbare reactie in de vorm van voedselzoekgedrag.

Met oplopende veldpotentialen zijn echter wel een aantal gedragsindelingen te maken. Een haai of rog reageert reflexmatig op een elektrisch signaal met een veldpotential tot $0,1 \mu\text{V}/\text{cm}$. Behalve het feit dat bij roggen het hartritme lager wordt, en daarmee hun eigen elektrische signaal, heeft dit ook een ecologische betekenis. Hierdoor kunnen de dieren de signalen namelijk nog beter detecteren. Daarna volgt een zichtbare reactie, maar is nog geen sprake van voedselzoekgedrag. Pas vanaf $0,1 \mu\text{V}/\text{cm}$ vindt daadwerkelijk voedselzoekgedrag plaats en wordt het signaal ontweken en vermeden vanaf een veldpotential van $10 \mu\text{V}/\text{cm}$. Een uitzondering op het ontwijkgedrag laat het onderzoek van Dijkgraaf en Kalmijn zien. Deze onderzoekers vinden een receptie van het signaal bij een veldpotential tussen 1,5 en $60 \mu\text{V}/\text{cm}$. Jammer genoeg maken ze binnen deze range geen onderscheid in typen gedrag.

Aangezien het voor het beantwoorden van de vraagstelling van dit onderzoek bijzonder relevant is wat de gedragingen zijn van haaien en roggen bij een hogere veldpotential wordt nu dieper ingegaan op het ontwijkgedrag van de hondshaai bij een veldpotential van $10 \mu\text{V}/\text{cm}$. Gill & Taylor (2001) deden experimenteel onderzoek naar de sensitiviteit van hondshaaien. De dieren werden blootgesteld aan elektro(magnetische)velden gegenereerd door onderwaterkabels van offshore windmolens. De veldpotential van een dergelijke windmolen bedraagt maximaal $10 \mu\text{V}/\text{cm}$. De onderzoekers stelden haaien ook bloot aan een veldpotential van $0,1 \mu\text{V}/\text{cm}$, dat overeenkomt met het elektrisch signaal dat wordt afgegeven door natuurlijke prooien van haaien. De hondshaai werd tijdens het onderzoek in een aquarium gezet en vervolgens blootgesteld aan een van de twee genoemde veldpotentialen. Het bleek dat de haai werd aangetrokken door een veldpotential van $0,1 \mu\text{V}/\text{cm}$ en wegzwom van een veld van $10 \mu\text{V}/\text{cm}$. Jammer genoeg werden bij veldpotentialen die daar tussenin liggen geen metingen verricht. Gill & Taylor concludeerden dat haaien elektrische signalen vermijden die minimaal een factor 100 hoger liggen dan die door hun natuurlijke prooi worden uitgezonden en dat ze daarom zeer elektrosensitief zijn.

Naast het raadplegen van artikelen en boeken over elektrosensitiviteit van haaien en roggen is via Internet research gedaan naar de eigenschappen van zogeheten 'shark repellents'. Shark repellents zenden elektrische signalen uit om haaien te weren en worden door duikers, snorkelaars, surfers en zwemmers gebruikt. Door de elektrische signalen wordt rondom een persoon een elektrisch veld gecreëerd met als doel de haai op een afstand van 2 tot 3 m te houden. De fabrikant garandeert dat haaien in 95% van de gevallen worden geweerd. Deze garantie kan echter niet worden gegeven in de buurt van riviermondingen of andere locaties waar het water minder zout is doordat zout water beter geleidt dan brak water (Bronnen: Sharksave met gelijknamig product → <http://www.sharksave.com> & Seachange Technologies, product: Shark Shield → <http://www.sharkshield.com>). Het instrument zelf bestaat uit een behuizing met daarin een oplaadbare accu van 12 V, een elektrode en een (extra) stalen elektrode die moet worden bevestigd aan één van de vinnen van de duiker. De accu moet worden bevestigd op borsthoogte, waardoor ongeveer 1,5 m ruimte tussen de beide elektrodes ontstaat. Door het instrument in werking te zetten ontstaat een spanningsveld tussen de twee elektrodes die een elektrisch veld om de duiker heen creëert. Volgens de producenten zijn de instrumenten uitgebreid en onafhankelijk van elkaar getest voordat ze tot productie zijn overgegaan. De producenten geven echter geen inzicht in de sterkte van het gecreëerde spanningsveld, ook ontbreken wetenschappelijke artikelen over dit onderwerp.

5 Analyse

Al bijna 50 jaar vissen de Nederlandse kotters met behulp van zogenaamde boomkorren. De boomkor is in al die jaren slechts weinig veranderd (Mondelinge mededeling Wolff, 2006). Intussen is de intensiteit van de commerciële visserij op de Noordzee toegenomen en daarmee het aantal boomkorren. De negatieve effecten van de boomkorvisserij zijn aanzienlijk: de bodem wordt omgewoeld, er is sprake van veel bijvangst waarvan de overlevingskans laag is en het brandstofgebruik is hoog.

De laatste jaren wordt dus naarstig naar een alternatief voor de boomkor gezocht. De pulskor kan uitkomst bieden voor een aantal problemen die de huidige boomkorvisserij veroorzaakt. De pulskorvisserij maakt gebruik van elektrische velden in plaats van wekkerkettingen waardoor de bodem niet of nauwelijks wordt beroerd, het brandstofgebruik is zuiniger en er is sprake van minder bijvangst en hogere overlevingskansen daarvan. Naast deze positieve eigenschappen is weinig onderzoek gedaan naar de negatieve effecten van de pulskor. Bekend is dat de elektrische velden die worden uitgezonden door een pulskor lang niet zo sterk zijn als de velden die voorheen werden gebruikt in de elektrovisserij. Deze tak van visserij gebruikt zeer hoge spanningsvelden om vissen te verdoven, te verlammen of te doden om ze vervolgens gemakkelijk te kunnen vangen. Hierbij krijgen de dieren een flinke schok, waardoor interne verwondingen kunnen ontstaan. Deze zijn onder andere aangetoond bij forellen, die na vangst allerlei interne bloedingen, gebroken botten en kapotte organen vertoonden (Sharber & Carothers, 1998). Toch ligt het spanningsveld dat wordt uitgezonden door de pulskor boven de detectiegrens van haaien en roggen ($0,1 \mu\text{V/cm}$). Dit komt doordat haaien en roggen zeer elektrosensitief zijn, in tegenstelling tot andere vissoorten.

Uit de resultaten van gedragsonderzoeken aan haaien en roggen in relatie tot elektrische velden kan een aantal conclusies worden getrokken. Ten eerste lijken hondshaaien en stekelroggen niet dezelfde gevoeligheid te hebben voor elektrische signalen, het verschil is ongeveer een factor 10. De stekelrog vertoont al bij een veldpotentiala van $0,01 \mu\text{V/cm}$ een reflex, terwijl dat bij de hondshaai bij $0,1 \mu\text{V/cm}$ plaatsvindt. Ten tweede is een aantal typen reacties te zien. Bij een oplopende veldpotentiala is de primaire reactie reflexmatig, daarna volgt een zichtbare reactie (zonder voedselzoekgedrag), waarna daadwerkelijk actief voedselzoekgedrag plaatsvindt. Bij nog verder oplopende veldpotentialen (boven de $10 \mu\text{V/cm}$) vindt ontwijking van de bron plaats. Ten derde is veel onderzoek gedaan naar de drempelwaarde van de detectiemogelijkheden van haaien en roggen. Er is, met uitzondering van het onderzoek van Gill & Taylor (2001) geen onderzoek verricht naar het volledige spectrum van elektrische detectie, inclusief de hogere veldpotentialen. Helaas biedt de branche van elektronische haaienverschrikkers (shark repellants) geen gedetailleerd inzicht in hun product, waarschijnlijk vanwege concurrentieoverwegingen.

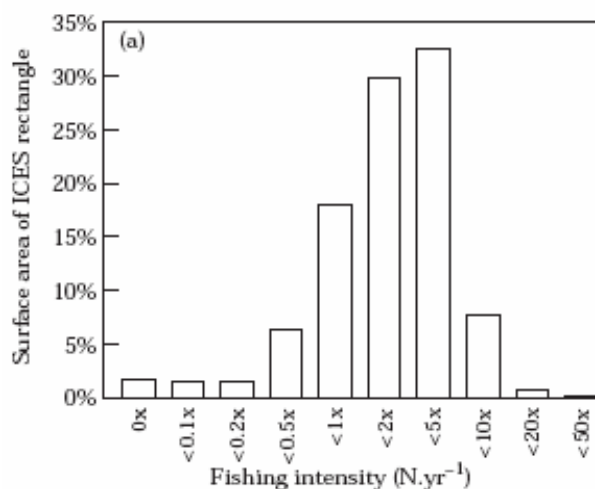
De veldpotentiala van de pulskor ligt ongeveer een factor 10^8 hoger dan de detectiegrens van haaien en roggen ($0,1 \mu\text{V/cm}$) en ongeveer een factor 10^6 hoger dan de veldpotentiala waarop hondshaaien duidelijk ontwijkgedrag laten zien in gedragsstudies ($10 \mu\text{V/cm}$). Daarnaast heeft het elektrische veld van een pulskor dezelfde twee effecten op haaien en roggen als die van een extern uniform veld zoals 1) het langzaam uitdoven van een signaal, en 2) het verstoren van de interne referentiepotaal.

1) Het langzaam uitdoven van een signaal in relatie tot de afstand van een bron.

Uit onderzoek naar de distributie van een extern uniform veld in de waterkolom blijkt dat het uitdoven van het signaal bijna onafhankelijk is van de weerstand van het medium en pas plaatsvindt na ongeveer 100 m afstand tot de bron. Hierbij blijft de maximale veldpotentiala

(in het onderzoek $10 \mu\text{V/cm}$) gehandhaafd tot ongeveer 4 m van de bron en nam het elektrische signaal af met een factor 100 (tot $0,1 \mu\text{V/cm}$) op ongeveer 100 m van de bron. Dat betekent dat haaien het signaal waarschijnlijk al op 110 m afstand kunnen detecteren, waarna ze voor de keuze staan om het signaal te negeren, er naartoe of vanaf te zwemmen. De keuze wordt beïnvloed door de ervaring die haaien en roggen met de pulskor hebben opgedaan en de tijd die ze beschikbaar hebben om te reageren. De beschikbare tijd is weer afhankelijk van de snelheid van het vaartuig en daarmee van het vistuig. Wanneer wordt gekeken naar de gemiddelde snelheid van een schip en de zwemsnelheid van haaien en roggen is het mogelijk dat haaien en roggen uit de netten kunnen blijven (Mondelinge mededeling Videler, 2006).

Als deze gegevens over het uitdoven van externe uniforme velden worden geëxtrapoleerd naar de pulskor blijkt dat het elektrische signaal binnen 100 m afstand van het tuig nog steeds een factor 1000 hoger ligt dan het punt waarop haaien ontwijkgedrag vertonen. Hypothetisch gezien zouden haaien het elektrische veld van een pulskor al van verre kunnen detecteren en eventueel kunnen vluchten. *Dit voordeel kan echter ook een ongewenst effect met zich meebrengen.* Het veelvuldige voorkomen van gedragsveranderingen, veroorzaakt door externe factoren, zouden stress bij haaien en roggen tot gevolg kunnen hebben. Hierbij zouden bepaalde gebieden in de Noordzee, die intensief worden bevist door pulskorvissers, geen of minder haaien en roggen bevatten dan andere, minder intensief beviste gebieden in de Noordzee. Door Rijnsdorp en medewerkers (*et al*, 1998) is al onderzoek gedaan naar de visintensiteit van Nederlandse boomkorvissers in het zuidelijk deel van de Noordzee. Hierbij is een steekproef genomen van 25 schepen ($> 300 \text{ pk}$) gedurende een periode van 1993 tot 1996. De resultaten van de relatie tussen visintensiteit en gebiedsgrootte is uitgezet in figuur 18.

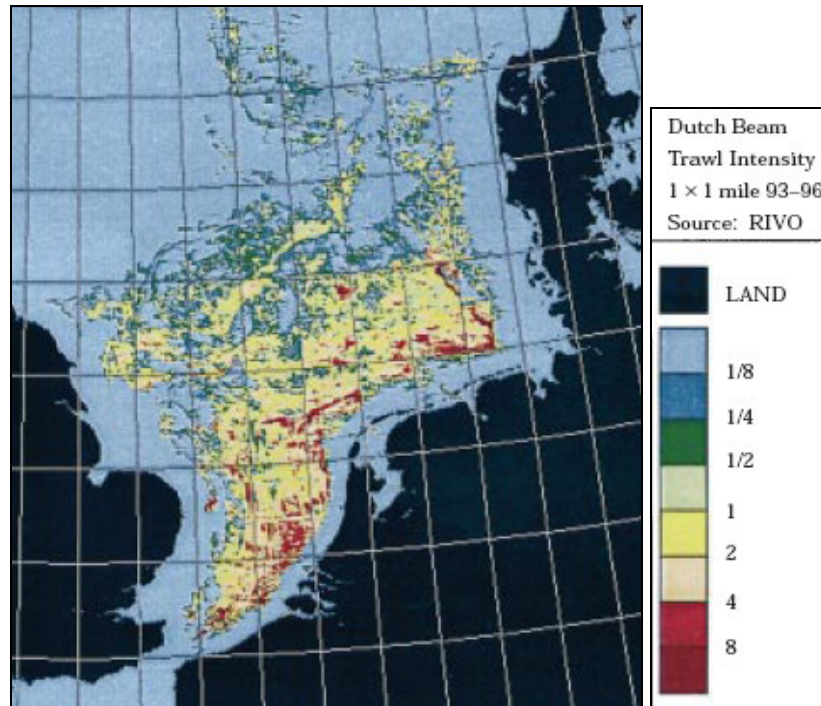


Figuur 18. Relatie tussen de gemiddelde jaarlijkse visintensiteit (aantal bezoeken per jaar) en gebiedsoppervlakte (cumulatief) van de meest beviste ICES-viszones in de Noordzee gedurende de periode 1993-1996 (Rijnsdorp *et al*, 1998)

Voorbeeld: $<1x = 20\%$ van het visoppervlak wordt minder dan 1x per jaar bevist

Het onderzoek toont aan dat gedurende de periode 1993-1996, 41-71% (gemiddeld 62%) van het onderzochte gebied ongeveer 1-5 keer per jaar werd bevist door een kotter. Ongeveer 9-44% (gemiddeld 29%) werd minder dan een keer per jaar bevist door een kotter en 0-4% (gemiddeld 1%) wordt ongeveer 10-50 keer per jaar bevist door een kotter. Vervolgens hebben de onderzoekers deze resultaten op een Hoe deze intensiteit is gedistribueerd over de Noordzee is vervolgens weergegeven in figuur 19. Hieruit blijkt dat de meeste visactiviteiten plaatsvinden rondom voor visserij afgesloten delen: de scholbox (Plaice Box) en de 12 mijls zone. Deze gesloten gebieden fungeren als kinderkamer voor onder andere schol en tong. Rond de lente en herfst vindt migratie plaats van respectievelijk volwassen en jonge dieren in

en uit de zone (ICES, 1965; Rijnsdorp & Pastoors, 1995; De Veen, 1978). Of haaien en roggen hetzelfde gedrag vertonen is in het kader van dit literatuuronderzoek niet onderzocht en dus niet bekend. Verhoogde visintensiteit van zowel de boomkor als de pulskor aan de rand van deze gebieden zou ervoor kunnen zorgen dat haaien en roggen hieruit worden geweerd. Als haaien en roggen zich ook voortplanten dichtbij de kust of in de scholbox dan zouden signalen van de pulskor verstorend kunnen werken. Dit zou nader onderzocht moeten worden.



Figuur 19. Overzicht van de gemiddelde jaarlijkse visintensiteit op verschillende gebieden in de Noordzee van 25 kotters (met meer dan 300pk motorvermogen) gedurende de periode van 1993-1996 (Rijnsdorp *et al*, 1996)

2) *Het verstoren van het interne referentiepotentiaal.*

Uit onderzoek is gebleken dat een deel van een extern uniform veld de huid van haaien of roggen passeert en vervolgens het interne referentiepotentiaal beïnvloedt. Dat betekent dat de dieren in eerste instantie een overdaad aan informatie te verwerken krijgen, die stopt zodra de interne referentiepotentiaal is veranderd. Alle elektrische informatie die binnenkomt via de elektroreceptoren wordt getoetst aan de interne referentiepotentiaal. Deze is van nature constant en zodanig laag dat haaien en roggen zeer lage veldpotentialen kunnen waarnemen. Het feit dat haaien en roggen de mogelijkheid hebben op een bepaalde manier met lage veldpotentialen om te gaan en elektrische velden met een hoge veldpotentiaal liever vermijden, getuigt van een goede aanpassing van de dieren aan hun omgeving. Haaien en roggen zijn in hoge mate afhankelijk van het goed functioneren van hun elektroreceptoren. Nadelige effecten van de elektrische signalen van de pulskor op deze elektroreceptoren hebben daarom een direct effect op de overlevingskansen van de dieren. Over de effecten van hoge veldpotentialen op de fysiologie van elektroreceptoren is verder niets bekend en verdient nader onderzoek.

Uit de experimenten naar gedragsveranderingen van haaien en roggen op elektrische velden in het algemeen kan worden geconcludeerd dat deze effect hebben op de dieren. Aangezien de velden van een pulskor vele malen sterker zijn dan de onderzochte velden mag worden aangenomen dat deze ook effect hebben op haaien en roggen. Dit moet in de praktijk nog

worden bevestigd. De relatie tussen gedragsveranderingen en schadelijkheid als gevolg van elektrische velden in het algemeen en van een pulskor in het bijzonder is onbekend. Het veelvuldige voorkomen van gedragsveranderingen, veroorzaakt door externe factoren, zouden stress bij haaien en roggen tot gevolg kunnen hebben. Door het ontwijkgedrag zou de kans om als bijvangst van een pulskorkotter gevangen te worden kleiner kunnen zijn dan bij een boomkorkotter. Hoe groot dit verschil is, is echter niet bekend. Daarom moeten de vangstgegevens van haaien en roggen ook bij de pulskor worden verzameld en onderzocht. Ook is meer onderzoek nodig naar de populatiedynamica van deze dieren.

6 Conclusies

- De Nederlandse kottervloot vist sinds 1960 met een boomkor. Anno 2005 is de boomkor nog steeds het meest algemeen gebruikte vistuig. De laatste jaren is de druk op de vissers groter geworden door de dalende quota, de afname in vangsten en daarmee verlies aan inkomsten. De kosten nemen echter toe door de hoge brandstofprijzen. Overeenkomstig het huidige visserijbeleid wordt een gedeelte van de kottervloot gesaneerd door het uitkopen van vissers.
- Aan het gebruik van de boomkor kleven verschillende nadelen. Door het slepen van de wekkerkettingen over de bodem wordt het bodemleven verstoord en/of beschadigd en ontstaat vertroebeling van de waterkolom. Daarnaast zorgt de boomkor voor veel bijvangst en is de overlevingskans daarvan laag. Verder is de slijtage van het tuig groot en ligt het brandstofgebruik hoog.
- In vergelijking met de boomkor biedt de pulskor de volgende voordelen. Er vindt minder bodemberoering plaats, doordat het tuig minder contact met de bodem heeft. Dit verminderde contact heeft een verlaagd brandstofverbruik en minder slijtage tot gevolg. De vis wordt door middel van elektrische velden opgeschrikt en vervolgens gevangen waardoor de bijvangst lager is, de dieren minder beschadigd worden en de overlevingskansen groter.
- Haaïen en roggen zijn commercieel niet interessant zijn en worden meestal als bijvangst weer overboord gegooid. Het aantal gevangen haaïen en roggen is dan ook slecht gedocumenteerd. Op basis van schattingen blijkt echter dat haaïen en roggen regelmatig als bijvangst worden gevangen en de dieren in aantal afnemen in de Noordzee. Een uitzondering hierop vormt de hondshaai, die in aantal toeneemt. Haaïen en roggen hanteren een K-strategie: langzame groei, weinig nakomelingen en een lage natuurlijke sterfte. Hierdoor is het effect van het wegvangen van individuen op populatieniveau groter dan bij de meeste andere vissoorten het geval is.
- Haaïen en roggen zijn in hoge mate electrosensitief door de fysiologische eigenschappen van hun elektroreceptoren. De locatie van elektroreceptoren verschilt tussen haaïen en roggen door de verschillende lichaamsvormen.
- Er zijn twee typen elektrische velden die haaïen en roggen kunnen tegenkomen: lokale polaire velden en externe uniforme velden. Lokale polaire velden zijn zwak van aard, hebben een natuurlijke oorsprong en worden geproduceerd door prooidieren. De elektrische signalen van deze velden doven snel uit wanneer de afstand tot de bron toeneemt: ongeveer een factor 1000 over 10 cm (van 200 $\mu\text{V}/\text{cm}$ naar 0,2 $\mu\text{V}/\text{cm}$). Externe uniforme velden hebben een antropogene oorsprong en zijn meestal sterker van aard dan lokale polaire velden. Voorbeelden zijn velden die worden geproduceerd door elektriciteitskabels op de zeebodem en elektrische velden die door pulskorren worden geproduceerd. In tegenstelling tot lokale polaire velden doven externe uniforme velden langzamer uit. Onderzoek aan elektriciteitskabels wees uit dat het signaal ongeveer een factor 100 afnam op een afstand van 100 m van de bron (van 10 $\mu\text{V}/\text{cm}$ naar 0,1 $\mu\text{V}/\text{cm}$). Een deel van de signalen van externe uniforme velden dringt door de huid van de haai of rog heen en beïnvloedt vervolgens de interne

referentiepotentiaal. Daardoor worden de binnenkomende elektrische signalen afgestemd op een andere interne referentiepotentiaal.

- Het meeste gedragsonderzoek is gedaan aan hondshaaien (*Scyliorhinus canicula*) en stekelroggen (*Raja clavata*). Alleen bij de hondshaai zijn gedragsproeven gedaan met hoge veldpotentialen. Daaruit blijkt dat hondshaaien een zichtbare ontwijkreactie vertonen bij een elektrisch veld van $10 \mu\text{V/cm}$. De elektrische signalen van de pulskor liggen een factor 10^6 hoger.
- Wanneer de langzame uitdoving van het elektrische signaal van een elektriciteitskabel zou worden geëxtrapoleerd naar de elektrische signalen van een pulskor, dan mag worden aangenomen dat haaien en roggen de signalen hiervan al van verre aan voelen komen.

De slotconclusie luidt dat de elektrische velden van een pulskor effecten hebben op haaien en roggen. Bij een bepaalde sterkte zullen deze ontwijkgedrag vertonen dat op dat moment afwijkt van hun natuurlijk gedrag. Of dit op den duur schadelijke gevolgen heeft is niet bekend, gebeurt het echter veelvuldig dan kan dit stress tot gevolg hebben. Het is mogelijk dat met de pulskor minder haaien en roggen als bijvangst worden gevangen in vergelijking met de boomkor.

Meer onderzoek is nodig naar:

- Exacte aantallen van de bijvangst aan haaien en roggen door de boomkor en de pulskor
- De effecten van hoge veldpotentialen op het gedrag en de fysiologie van haaien en roggen
- Populatie dynamische gegevens van haaien en roggen in de Noordzee
- De locaties waar haaien en roggen het meest voorkomen in relatie tot de intensieve visgebieden
- Stressgevoeligheid van elektrosensitieve zeedieren door veelvuldig ontwijkgedrag

Literatuurlijst

1. Bergman, M. J. N. & Van Santbrink, J. W. (2000). Mortality in megafaunal benthic populations caused by trawl fisheries on the Dutch continental shelf in the North Sea in 1994. ICES journal of marine science; vol. 57 (5) p1321-1331 (11).
2. Braithwaite, V.A. & Huntingford, F.A. (2004). Fish and welfare: do fish have the capacity for pain perception and suffering? Animal Welfare, 13: S87-92.
3. CBS Statline (2005). Geraadpleegde onderwerpen:
 - Prijs verse vis: Hoeveelheid en prijs van in Nederland aangevoerde havens verse vis.
Beschikbaar:
http://statline.cbs.nl/StatWeb/table.asp?HDR=T,G2&LA=nl&DM=SLNL&PA=7029_vis&D1=1&D2=3-10,12-15,17-25,30,32&D3=a,!0-99,!103&STB=G1
 - Aanvoer verse vis: Hoeveelheid en prijs van in Nederland aangevoerde havens verse vis.
Beschikbaar:
http://statline.cbs.nl/StatWeb/table.asp?HDR=T,G2&LA=nl&DM=SLNL&PA=7029_vis&D1=0&D2=a&D3=a,!0-99,!103&STB=G1
 - Visvloot: Zee- en Kustvisserij
Beschikbaar:
[http://statline.cbs.nl/StatWeb/table.asp?STB=T&LA=nl&DM=SLNL&PA=7203vloot&D1=0-12&D2=3,8,\(1-1\)-1&HDR=G1](http://statline.cbs.nl/StatWeb/table.asp?STB=T&LA=nl&DM=SLNL&PA=7203vloot&D1=0-12&D2=3,8,(1-1)-1&HDR=G1)
4. Chandroo, K.P., Duncan, I.J.H. & Moccia, R.D. (2004). Can Fish suffer? Perspectives on sentience, pain and stress. Applied Animal Behavioural Science 6, 225-250.
5. Dijkgraaf, S & Kalmijn, A.J. (1962). Verhaltensversuche zur Funktion der Lorenzinischen Ampullen. Naturwissenschaften, 49: 400.
6. Dijkgraaf, S & Kalmijn, A.J. (1963). Untersuchungen über die Funktion der Lorenzinischen Ampullen am Haifischen. Z. Vergl. Physiol, 47: 438-456.
7. EU (2005). Europese Unie: Visserij en Maritieme Zaken: TAC's en Vangstquota van 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 en 2005 Beschikbaar:
http://europa.eu.int/comm/fisheries/doc_et_publ/pub_nl.htm
8. Federatie van Visserijbelangen (2005). Informatie leden. Beschikbaar: www.visserij.nl
9. Financieel Dagblad. (2005). Dure Olie leidt tot internationale wrevel. 16-09-2005. 688 woorden.
10. Gill, A.B. & Taylor, H. (2001). The potential effects of electromagnetic fields generated by cabling between offshore wind turbines upon elasmobranch fishes. Research Project for the Countryside Council for Wales, CCW Science report 488.
11. Heessen, H.J.L. (2003). Development of elasmobranch assessments DELASS. Final report of DG Fish Study Contract 99/055, 605 p.

12. Hill, B. J., and Wassenberg, T. J. (1990). Fate of discards from prawn trawlers in Torres Strait. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 41: 53–64.
13. ICES (2004). Report of the 2004 inter-sessional meeting of the ICCAT Sub-Committee on by-catches: shark stock assessment. Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT 57(x): xxx-xxx (2005) 92p.
14. Kaiser, M. J.; Edwards, D. B.; Armstrong, P. J.; Radford, K.; Lough, N. E. L.; Flatt, R. P.; Jones, H. D. (1998). Changes in megafaunal benthic communities in different habitats after trawling disturbance. *ICES journal of marine science*; vol. 55 (3) p353-361 (9).
15. Kalmijn, A. J. (1966). Electro-perception in sharks and rays. *Nature*, 212: 1232-1233.
16. Kalmijn, A.J. (1969). Bioelectric Fields in Seawater and The Function of the Ampullae of Lorenzini in Elasmobranchs. (proefschrift).
17. Kalmijn, A.J. (1971). The Electrical Sense of Sharks and Rays. *Journal of Experimental Biology*. 55, 371-383.
18. Kalmijn, A.J. (1974). Handbook of sensory biology Volume III: Electoreceptors and Other Specialized Receptors. Springer-Verslag Berlin Heidelberg New York 1974 Chapter 5: The Detection of Electric Fields from Inanimate and Animate Sources Other than Electric Organs.
19. Kalmijn, A.J. (1982). Electric and Magnetic Field detection in Elasmobranch Fishes. *Science*. 1982, 218: 916-918.
20. Kalmijn, A.J. (2003). Graded Positive Feedback in Elasmobranch Ampullae of Lorenzini. *Unsolved Problems of Noise and Fluctuations: UPoN: Third International Conference*: 133-141.
21. Lawrence, E. (2000). *Hendersons Dictionary of Biological Terms*, 12th edition.
22. LNV (2005). Gemeenschappelijk visserijbeleid. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Beschikbaar: www.minlnv.nl
23. Montgomery, J.C. & Bodznick, D. (1999). Signals and noise in the elasmobranch electrosensory. *Journal of Experimental Biology*, 202: 1349-1355.
24. NRC Handelsblad (2005). Handel groeit langzaam. 27-10-2005, p17.
25. Paulin, M.G. (1995). Electoreception and the Compass Sense of Sharks. *Journal of Theoretic Biology*. 174 325-339.
26. Philippart, C.J.M. (1998). Long-term impacts of bottom fisheries on several by-catch species of demersal fish and benthic invertebrates. *ICES Journal of Marine Science*. 55: 342-352.

27. Piet, G. J., Rijnsdorp, A. D., Bergman, M. J. N., van Santbrink, J. W., Craeymeersch, J. & Buijs, J. A (2000). Quantative evaluation of the impact of beam trawling on benthic fauna in the southern North Sea. ICES journal of marine science; vol. 57 (5) p1332-1339 (8).
28. Productschap Vis (1999). Statistische gegevens aanvoer, Hoofdstuk 3: Algemene Aanvoergegevens. Beschikbaar:
<http://www.pvis.nl/pages/Statistischeinfo1999/statistischverslag%203%20aanvoer.pdf>
29. Productschap Vis (2000). Statistische gegevens aanvoer, Hoofdstuk 3: Algemene Aanvoergegevens. Beschikbaar:
<http://www.pvis.nl/pages/Statistischeinfo1999/statistischeinfo2000/statistische%20gevens%20aanvoer.pdf>
30. Productschap Vis (2001). Totaaloverzicht aanvoer verse vis verhandelt via Nederlandse afslagen van 2001. Beschikbaar:
<http://www.pvis.nl/pages/Statistischeinfo1999/statistischeinfo2003/2.7.pdf>
31. Productschap Vis (2002). Totaaloverzicht aanvoer verse vis verhandelt via Nederlandse afslagen van 2002. Beschikbaar:
<http://www.pvis.nl/pages/Statistischeinfo1999/statistischeinfo2003/2.6.pdf>
32. Productschap Vis (2003a). Totaaloverzicht aanvoer verse vis verhandelt via Nederlandse afslagen van 2003. Beschikbaar:
<http://www.pvis.nl/pages/Statistischeinfo1999/statistischeinfo2003/2.5.pdf>
33. Productschap Vis (2003b). Statistisch overzicht 2003: De Visquota: Hoofdstuk 1.3, Nederlandse Tong- en Scholquota na ruil 1980-2003 (Grafiek) Beschikbaar:
<http://www.pvis.nl/pages/Statistischeinfo1999/statistischeinfo2003/1.3.pdf>
34. Productschap Vis (2004). Totaaloverzicht aanvoer verse vis verhandelt via Nederlandse afslagen van 2004. Beschikbaar:
<http://www.pvis.nl/pages/Statistischeinfo1999/statistischeinfo2004/Totaaloverzicht%20aanvoer%20verse%20vis%202004.pdf>
35. Renselaar, J. (2001). Goldfish and learning: what is known about it? Scriptie University of Utrecht, 33p.
36. Rijnsdorp, A.D., van Leeuwen, P.I., Daan, N., & Heessen, H.J.L. (1996). Changes of demersal fish species in the North Sea between 1906-1909 and 1990-1995. ICES Journal of Marine Science, 53: 1054-1062.
37. Rijnsdorp, A.D., Buys, A.M., Storbeck, F. & Visser, E.G. (1998). Micro-scale distribution of beam trawl effort in the southern North Sea between 1993 and 1996 in relation to the trawling frequency of the sea bed and the impact on benthic organisms ICES Journal of Marine Science, 55: 403-419.
38. Rose, J.D. (2002). The Neurobehavioural Nature of Fishes and the Question of Awareness and Pain. Reviews in Fisheries Science, 10 (1): 1-38.

39. Schenkel, M. (2005). Goedkoper Vissen Spaart de Bodem. NRC Handelsblad, 29-08-2005, 920 woorden.
40. Sharber, N.G. and Carothers, S.W. (1998). Influence of electro fishing pulse shape on spinal injuries in adult rainbow trout. N. Am. J. Fish. Manage. 8: 117–122.
41. Snyder, D.E. (2003). Invited overview: Conclusions from a review of elektro fishing and its harmful effects on fish, Reviews in Fish Biology and Fisheries 13: 445–453.
42. Steketee, M. (2005). Een Milieuvriendelijke Boomkor. NRC Handelsblad. 19-08-2005, pCZ13.
43. Stevens, J.D., Bonfil, R. Dulvy, N.K. & Walker, P.A. (2000). The effects of fishing on sharks, rays, and chimaeras (chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. ICES Journal of Marine Science, 57: 476–494.
44. Steward, P.A.M. (1978). Comparative Fishing for Flatfish using a Beam Trawl fitted with Electric Ticklers. Scottish Fisheries Research Report, 11.
45. Tricas, T.C. (2001). The Neuroecology of the Elasmobranch Elektrosensory World: Why peripheral Morphology shapes behaviour. Environmental Biology of Fishes, 60: 77-92.
46. Trouw (2005). Kottervloot moet opnieuw inkrimpen. 16-7-2005, p12.
47. Van Stralen (2004a). Ontwikkeling van de Pulskor: De stand van Zaken. Visserijnieuws, 23 juli: 4-5.
48. Van Stralen (2004b). Vangsten en Brandstofbesparing Hoopgevend. Visserijnieuws, 24 december: 8-9.
49. Walker, P.A. & Heessen, H.J.L. (1996). Long-term changes in ray populations in the North Sea. ICES Journal of Marine Science, 53: 1085-1093.
50. Walker, P.A. & Hislop, J.R.G. (1998). Sensitive skates or resilient rays? Spatial and temporal shifts in ray species composition in the central and north-western North Sea between 1930 and the present day. ICES Journal of Marine Science, 55: 392-402.
51. Yue, S. Moccia, R.D. & Duncan, I.J.H. (2004). Investigating fear in domestic rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, using an avoidance learning task. Applied Animal Behaviour Science. Article in Press.

Geraadpleegde deskundigen

Prof. Dr. W.J. Wolff (Mariene Biologie, Rijksuniversiteit Groningen)

Prof. Dr. J.J. Videler (Mariene Biologie, Rijksuniversiteit Groningen)

Dr. H. van der Vis (Wageningen Universiteit en Researchcentrum)